

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля

Факультет інженерії  
(повне найменування факультету)

Кафедра хімічної інженерії та екології  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

освітнього ступеня бакалавр  
(бакалавр, магістр)  
спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

на тему: Виробництво карбаміду потужність 330 тис. т/рік з розробкою стадії  
випарки

Виконав: здобувач вищої освіти групи ХТ-17д

Шульгінова К.В.  
(прізвище, та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Ожередова М.А.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Завідувач кафедри Суворін О.В.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Шаповалова І.М.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Севєродонецьк - 2021 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_  
Освітній ступінь \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магістр)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 161 – Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

О.В. Суворін

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шульгіновій Крістині Володимирівні

**1. Тема дипломного проекту:**

Виробництво карбаміду  
потужність 330 тис. т/рік з розробкою стадії випарювання

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Ожередова Марина Анатоліївна, к. т. н., доц. \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від 18.03.2021 р. № 54/15.25

**2. Строк подання здобувачем вищої освіти проекту - 10 червня 2021 р.**

**3. Вихідні дані до роботи:** літературні, патентні та регламентні дані.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

Вступ. 1. Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва. 2. Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції. 3. Опис технологічної схеми. 4. Матеріальні і теплові баланси. 5. Вибір і розрахунок основного апарату. 6. Вибір допоміжного обладнання. 7. Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату. 8. Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища. 9. Охорона праці. Висновки. Анотація. Література. Додатки.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

1. Технологічна схема стадії випарювання у виробництві карбаміду (1 лист).
2. Креслення основного апарату (1 лист).
3. Таблиця матеріального балансу (1 лист).

6. Дата видачі завдання - 18 березня 2021 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	5.04.2020	
2	Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва	10.04.2020	
3	Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції	15.04.2020	
4	Опис технологічної схеми	30.04.2020	
5	Матеріальні і теплові баланси	5.05.2020	
6	Вибір і розрахунок основного апарату	15.05.2020	
7	Вибір допоміжного обладнання	25.05.2020	
8	Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату	1.06.2020	
9	Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	5.06.2020	
10	Охорона праці	7.06.2020	
11	Висновки	10.06.2020	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ Шульгінова К.В.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ Ожередова М.А.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка		
Справ. №					<u>Текстові документи</u>				
	A4		1	ПД.23.01.ПЗ	Пояснювальна записка дипломного проекту	84			
					<u>Графічні документи</u>				
	A3		2	ПД.23.02.СХ	Технологічна схема	1			
	A3		3	ПД.23.03.ВЗ	Креслення основного апарату. Вид загальний	1			
	A3		4	ПД.23.04.ТБ	Таблиця матеріального балансу	1			
Подп. и дата									
Инв. №									
Взам.инв. №									
					ПД.23.01.ПЗ				
Инв. № подл.	Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Літ.	Арк	Аркушів
	Розробив		Шульгінова К. В.						
	Перевірив		Ожередова М.А.						
	Консультант								
	Н. Контр.								
	Затвердив		Суворін О.В.						
								4	84
							СНУ ім. В. Даля, гр. ХТ-17д		

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 84 сторінки, 19 таблиць, 3 рисунки, використано 24 літературних джерела. Листів графічної частини – 3.

### РОЗЧИН КАРБАМІДУ, ВИПАРЮВАННЯ, СЕПАРАТОР, ПІДГРІВАЧ, КОНДЕНСАТОР, ТЕХНОЛОГІЯ

Метою дипломного проекту була розробка стадії випарювання у виробництві карбаміду потужність 330 тис. т/рік.

У проекті висвітлені питання сучасного стану процесу випарки карбаміду та переваги обраного методу, характеристика сировини, напівпродуктів, що використовуються у виробництві готової продукції. Виконані розрахунки матеріального і теплового балансів. Проведено розрахунок основного апарату та вибір основних конструкційних матеріалів, механічний розрахунок на міцність.

Приділено увагу питанням екології та охорони навколишнього середовища: розглянуто заходи попередження забруднення атмосфери, методи захисту водойм від промислових стоків, розраховано граничнодопустимий викид забруднюючих речовин в атмосферу. Розглянуто заходи з охорони праці на виробництві, що проектується.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва..	10
1.1 Аналітичний огляд і патентний пошук.....	10
1.2 Обґрунтування методу виробництва.....	28
2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції.....	30
3 Опис технологічної схеми.....	37
4 Матеріальні і теплові баланси.....	40
4.1 Матеріальні розрахунки.....	40
4.3 Теплові розрахунки.....	43
5 Вибір і розрахунок основного апарату.....	50
6 Вибір допоміжного обладнання.....	53
7 Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату.....	56
7.1 Контроль основних технологічних параметрів процесу.....	57
7.2 Регулювання параметрів технологічного процесу.....	59
7.3 Сигналізація і блокування процесу.....	60
8 Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища.....	65
8.1 Відходи виробництва карбаміду .....	66
8.2 Вплив забруднювачів базового об'єкту на атмосферу, літосферу, гідросферу, рослинний і тваринний світ, людину .....	67
8.3 Заходи щодо охорони навколишнього середовища.....	69
8.4 Розрахунок ГДВ.....	70
9 Охорона праці.....	74
9.1 Основні фізико - хімічні властивості та токсичність речовин.....	74
9.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві, що проектується .....	75
9.3 Класифікація і категорійність виробництва і його приміщень, що проектується.....	77

9.4 Заходи пожежної безпеки .....	78
Висновки.....	80
Анотація.....	81
Список літератури.....	83

## ВСТУП

На даний час виробництво карбаміду, яке отримало за останні роки загальне визнання в якості найбільш ефективної форми нітратних добрив, розвивається більш інтенсивно [1].

З роками виробництво карбаміду вдосконалювалось. Потужності виробництва карбаміду як в нашій країні, так і в усьому світі мають стійку тенденцію до подальшого зростання. Швидке зростання потужностей призвело до того, що карбамід став домінуючим видом серед твердих форм нітратних добрив. В зв'язку з цим однією з характерних особливостей нітратної промисловості в нинішній час є будівництво аміачно-карбамідних комплексів без будь-яких інших відділень переробки аміаку.

Швидке зростання виробництва карбаміду обумовлено удосконаленням його технології та конструктивного оформлення процесу [2].

Останнім часом карбамід знаходить все більш широке застосування в різних галузях промисловості і сільського господарства.

В промисловості карбамід використовується для виробництва штучних смол. Смоли, отримані на основі карбаміду, застосовуються як склеюючі компоненти при виготовленні багатошарової фанери, у виробництві посуду, для просочення тканин з метою підвищення їх міцності. В паперовій промисловості продукти конденсації карбаміду з формальдегідом використовуються для збільшення механічної міцності паперу, додання йому прозорості, а також водонепроникності.

В нафтовій промисловості використовують карбамід для розділення нафтопродуктів методом екстрактної кристалізації, а також для очищення мастил.

Карбамід знайшов широке застосування у фармацевтичній промисловості для приготування заспокійливих (адалін, бромурал), снодійних (веронал, люмінал) і сечогінних препаратів, складів для загоєння ран. Його використовують при виготовленні дезинфекційних засобів, як



пом'якшувальний засіб у виробництві косметичних кремів, він входить до складу деяких зубних паст [1].

В сільському господарстві карбамід застосовують як азотне добриво і як азотвмісну добавку до корму для худоби. За своїми агротехнічними властивостями карбамід — висококонцентроване безбаластне азотне добриво. В порівнянні з іншими азотними добривами він містить найбільшу кількість азоту (близько 46% в амідній формі).

Карбамід можна застосовувати і як початковий продукт для отримання ціанату натрію, меламіну, гідразину, гуанідину.

В даний час інтенсивно ведуться науково-дослідні та інженерні розробки в області виробництва карбаміду. Вони направлені на зниження енергетичних витрат, забруднення навколишнього середовища, капітальних вкладень, на підвищення якості продукції і продуктивності праці. Це досягається наступними шляхами: підвищенням ступеня перетворення початкових речовин в карбамід за рахунок збільшення молярного відношення  $\text{NH}_3 : \text{CO}_2$  та підвищення тиску; як найповнішою утилізацією тепла; підвищенням ступеня розкладання карбамату амонію при тиску синтезу за рахунок застосування в дистиляції різних стріпінг – агентів; застосуванням високоефективних плівкових підігрівачів; застосуванням відцентрових машин; повною автоматизацією процесу.

Стадія концентрування призначена для отримання розчинів карбаміду такої концентрації, при якій, в процесі їх подальшого охолодження можна отримати гранули або кристали карбаміду. Для концентрування розчини карбаміду піддаються випаровуванню при досить високих температурах. У промисловості застосовуються такі схеми процесів концентрування, які зводили б до мінімуму небажані побічні реакції з карбамідом (утворення біурету, гідроліз та ін.) [3].

# 1 СТИСЛИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД З ОБГРУНТУВАННЯМ МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА

## 1.1 Аналітичний огляд і патентний пошук

Промислові способи виробництва карбаміду розрізняються не стільки умовами синтезу (температурою, тиском, співвідношенням  $\text{NH}_3$ :  $\text{CO}_2$ :  $\text{H}_2\text{O}$ ), скільки методами уловлювання та використання газів дистиляції плаву - суміші  $\text{NH}_3$  з  $\text{CO}_2$ , ступінь перетворення якої в карбамід не перевищує відповідно 50 і 70%.

Технологія карбаміду за роки розвитку неодноразово якісно змінювалася. Технологічні схеми відкритого типу змінювалися напівзамкненими, які, у свою чергу, були витиснені повністю замкнутими. Розвиток замкнутих схем далі йшов у напрямі максимального корисного використання внутрішнього енергетичного потенціалу процесу і збільшення одиничної потужності промислових агрегатів.

До середини 60-х років у виробництві карбаміду використовувалися процеси безрециклові (однопрохідні) або з частковим рециклом, в якому, основна увага приділялася економії аміаку: аміак, що не прореагував, повертали в реактор, а діоксид вуглецю скидали в атмосферу. У 60-і роки в промислову практику стали впроваджуватися процеси з повним рециклом, де в реакційну систему повністю повертаються і аміак, і діоксид вуглецю (процеси Кеміко, Монтедисон, Тоскоацу, Стамікарбон і ін.). У процесах з повним рідинним рециклом аміак і  $\text{CO}_2$ , що не прореагували, повертають в реактор у вигляді розчину карбамату амонію. Характерна риса таких процесів - постадійне зниження реакційного потоку з конденсацією газів, що виділяються на кожній стадії. Такий спосіб їх виділення сприяє повноті розкладання проміжного карбамату і підвищенню виходу карбаміду (практично вся сировина

перетворюється в карбамід). Однак з точки зору енергоспоживання ці процеси недостатньо ефективні, тому що для відділення аміаку і  $\text{CO}_2$  тиск реакційних потоків знижують до кількох атмосфер, а для їх повернення в реактор проводять повторне стиснення [1].

В кінці 60-х років розроблені процеси з віддувкою або так звані "стрипинг" - процеси, в яких виключена рекомпресія потоків. Фірмами Стамікарбон і Снампроджетті розроблені процеси, в яких реакцію розкладання карбамату проводили шляхом зниження не загальної, а парціального тиску в паровій фазі одного з компонентів ( $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$ ), при цьому зберігається загальний високий тиск в системі. На практиці, це здійснюється шляхом введення великих кількостей  $\text{CO}_2$  (процес Стамікарбон) або  $\text{NH}_3$  (процес Снам Проджетті). Остаточне очищення продуктів проводять в дві стадії, що дозволяє знизити споживання пари [2].

Основна перевага технології "стрипинг" - більш просте відділення продукту від реагентів, при цьому практично не потребує додаткового стиснення продукту, що рециркулює.

"Стрипинг" - процеси знайшли найбільшого поширення в промисловій практиці з початку 70-х років. До недоліків процесів отдувки відносяться нижчі конверсія  $\text{CO}_2$  в реакторі за один прохід і вихід карбаміду в порівнянні з процесами повного рідинного рециклу, обумовлені погіршенням термодинамічних умов проведення процесу [4]. Нові розробки в області технології виробництва карбаміду спрямовані на підвищення ефективності роботи реактора за рахунок поєднання в одній технологічній схемі основних принципів процесу повного рецикла і "стрипинг" - процесів, тобто підвищеної конверсії  $\text{CO}_2$  за один прохід і відгону реагентів без зниження тиску потоків.

У 80-і роки були запропоновані нові процеси синтезу карбаміду:

- ізобарний подвійний рецикл (Isobaric Double Recycle, IDR) фірми Монтедисон (Італія);

- вдосконалений енергозберігаючий процес фірми Міцуї тоацу і Тое Ендзініарінгу (ACES, Advanced Process for Cost and Energy Saving, Японія);

- процес з допоміжним рециклом (Splitreaction-recycle) фірми Ammonia Casale (Швейцарія) з додатковою стадією обробки частини реакційного розчину [5].

Суть цих процесів полягає в використанні високого мольного співвідношення  $\text{NH}_3$ :  $\text{CO}_2$  в реакторі, що дозволяє, незважаючи на більш низький тиск синтезу, збільшити конверсію  $\text{CO}_2$  за один прохід до рівня, порівнянного з процесами повного рідинного рециклу.

В результаті численних теоретичних та експлуатаційних досліджень, проведених у ряді країн були розроблені працездатні схеми виробництва карбаміду. У промисловому масштабі були освоєні наступні методи виробництва [2]:

- відкритий процес, в якому аміак та діоксид вуглецю не перетворені у карбамід не повертаються в цикл синтезу, а використовуються у виробництві інших продуктів (аміачної селітри, сульфату амонію, кальцинованої соди);

- процеси з частковим рециклом рідкого аміаку, в якому частина аміаку, не перетвореного на карбамід, відділяється від розчину карбаміду, конденсується і в рідкому вигляді повертається в цикл синтезу або з частковим рециклом рідкого аміаку і розчину вуглеамонійних солей, що повертаються в колону синтезу. У цьому процесі знижується кількість газів, що направляються на інші виробництва.

У світовій практиці в основному використовуються процеси з повною рециркуляцією аміаку та діоксиду вуглецю, що не прореагували:

- з рециркуляцією розчиненого аміаку та діоксиду вуглецю, в якому  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$  повертаються в цикл синтезу у вигляді розчину вуглеамонійних солей;

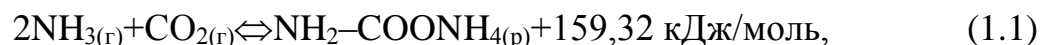
- з розділенням аміаку і діоксиду вуглецю, що не прореагували, і поверненням їх в цикл;

- з рециркуляцією гарячих газів;

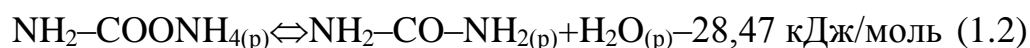
- стрипинг-процес синтезу і дистиляції, в якому розкладання карбамату амонію і аміаку проводяться в струмі  $\text{CO}_2$  та  $\text{NH}_3$ .

Промислові методи отримання карбаміду з аміаку та діоксиду вуглецю відрізняються як за параметрами процесу: температурі, тиску, співвідношенню між  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , методам захисту апаратів від корозії, так і за схемами використання неперетворених  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ .

При взаємодії  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$  відбуваються дві оборотні послідовні реакції: утворення карбамату амонію (амонійній солі карбамінової кислоти)



дегідратація карбамату амонію з утворенням карбаміду



Перетворення карбамату амонію в карбамід відбувається в рідкій фазі. Відповідно до цього процес синтезу необхідно вести при високій температурі і відповідній їй високому тиску. Мінімальні умови реакції відповідають температурі плавлення карбамату амонію  $152^\circ\text{C}$  і тиск  $83,3 \text{ атм}$ . З підвищенням тиску розширюється область температур, при яких існує рідка фаза.

Підвищення температури сприяє розкладанню карбамату, тобто рівновага реакції (1.1) зміщується вліво. Одночасне підвищення тиску перешкоджає розкладанню карбамату, зміщує рівновагу вправо. Швидкість реакції зростає приблизно квадрату тиску. При атмосферному тиску й невисокій температурі утворення карбамату амонію йде дуже повільно, а при  $10 \text{ МПа}$  й  $150^\circ\text{C}$  проходить практично миттєво. З підвищенням загального тиску в системі зростає також ступінь конверсії карбамату амонію в карбамід.

Оскільки інтенсивно реакція утворення карбаміду з карбамату відбувається в рідкій фазі, тому фактори, що сприяють збільшенню вмісту рідкої фази, прискорюють утворення карбаміду. Спільна присутність карбамату амонію та карбаміду знижує температуру плавлення кожної з цих сполук.

Найбільший вплив на збільшення виходу карбаміду має надлишок амоніаку у вихідній суміші проти стехіометричної кількості  $\text{NH}_3:\text{CO}_2 = 2:1$ . Надлишковий амоніак зменшує шкідливу дію води, що виділилася в процесі, - він зв'язує воду й тим самим зрушує рівновагу реакції перетворення карбамату амонію в карбамід у бік останнього.

Найбільший ступінь конверсії  $\text{CO}_2$  у карбамід (62 %) буде при тиску 20 МПа й температурі 195 °С, мольному співвідношенні  $\text{NH}_3:\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O} = (3,5\div 4,5):1,0:(0,5\div 0,8)$  і часу перебування плаву в колоні синтезу 30-40 хвилин.

Процес виробництва карбаміду складається з наступних основних стадій:

- підготовка сировини - діоксиду вуглецю і рідкого аміаку;
- синтез карбаміду;
- обробка плаву;
- концентрування (випарювання) розчину карбаміду;
- кристалізація (гранулювання) карбаміду;
- розфасовка і складування товарного продукту;
- очищення стічних вод і газів, що відходять.

Випарювання є першою стадією переробки розчинів карбаміду в готовий продукт. Залежно від виду одержуваної продукції (гранульований або кристалічний продукт) потрібна різна кінцева концентрація розчинів карбаміду. Існує кілька способів їхнього випарювання:

- одноступеневе випарювання в апаратах плівкового типу;
- двоступеневе випарювання при розрідженні із застосуванням у другому ступені апаратів роторного типу або із застосуванням трубчастих випарників;
- випарювання в струмі повітря або інертного газу.

Одноступеневе випарювання (рис. 1.1) застосовується при одержанні кристалічного карбаміду. Кінцева концентрація одержуваного розчину 92 - 94 %.

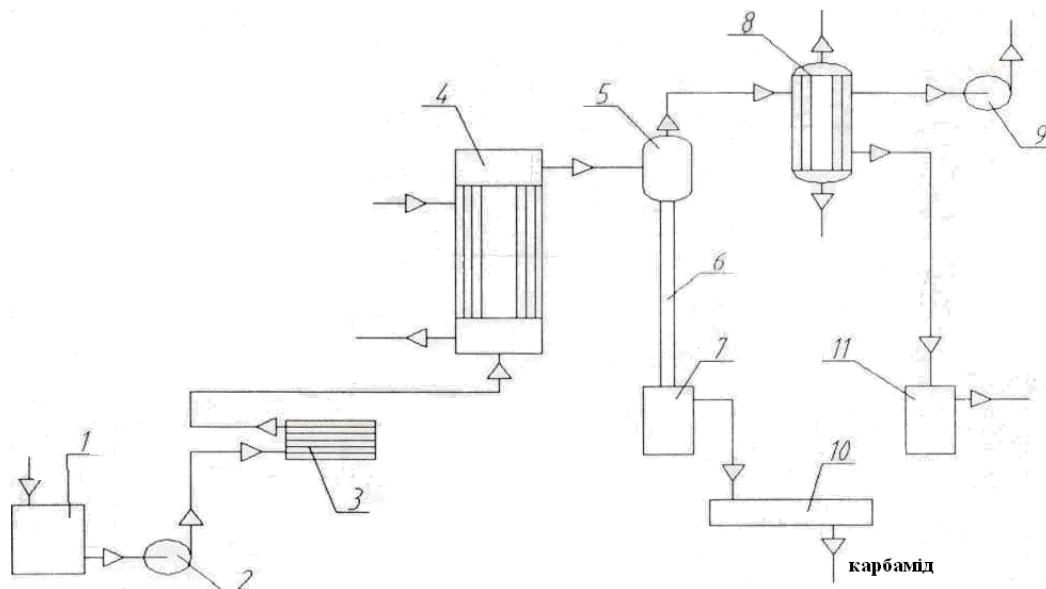


Рис. 1.1 Схема переробки розчину карбаміду з одноступеневим випарюванням

1 - збірник розчину, 2 - насос, 3 – фільтр - прес, 4 - випарний апарат. 5 - сепаратор, 6 - барометрична труба, 7 - гідрозатвор, 8 - конденсатор, 9 - вакуум-насос, 10 - шнековий кристалізатор, 11 - збірник

Після дистиляції другого ступеня розчин збирається в збірнику поз.1 і через фільтр поз.3 перекачується у випарний апарат поз.4. Відділення розчину від сокової пари відбувається в сепараторі поз.5.

По барометричній трубі плав стікає в гідрозатвор, звідки передається на кристалізацію, а сокова пара скраплюються в конденсаторі поз.8 і направляються на очищення від  $\text{CO}_2$  і  $\text{NH}_3$ . Процес ведуть при розрідженні (залишковий тиск 200 - 300 мм рт.ст.).

Випарювання розчинів карбаміду у два ступеня (рис. 1.2) здійснюється для одержання висококонцентрованого розчину, що містить 98,5 – 99,9% карбаміду, мінімальну кількість біурету і інших побічних продуктів.

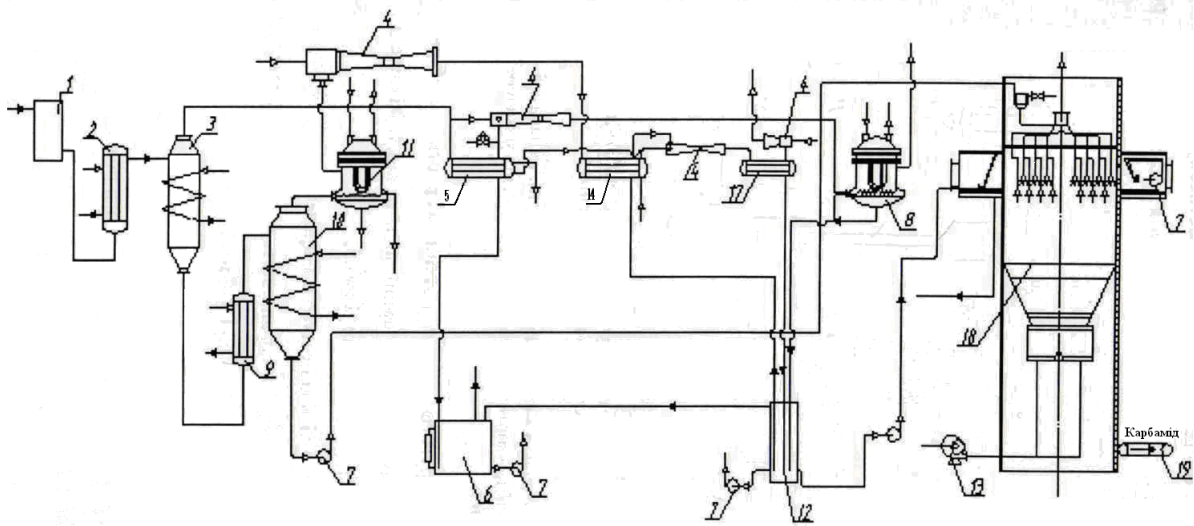


Рис. 1.2 – Схема переробки розчину карбаміду з двоступеневим випарюванням:

1 - напірний бак; 2, 9 – випарники; 3, 10 – сепаратори; 4 - ежектори, 5, 14, 17 – конденсатори; 6, 12 - гідрозатвори, 7 – насоси; 8 - «хвостовий» конденсатор; 11 – форконденсатор; 13 – вентилятор; 15 – фільтр; 16 - напірний бак; 18 - грануляційна вежа; 19 - транспортер

При цьому двоступеневе випарювання може проводитися із застосуванням у другому ступені апаратів роторного типу. У вітчизняній промисловості частіше використовують схеми із двоступеневим випарюванням розчину в трубчастих апаратах.

Розчин карбаміду з бака поз.1 надходить у випарник поз.2, у міжтрубний простір якого подається пара. З випарника рідка і парова фази надходять для розділу в сепаратор поз.3. У першому ступені випарювання розчин карбаміду при залишковому тиску 300 мм рт. ст. упарюється до концентрації 93 - 95 %. Із сепаратора поз.3 парова фаза надходить у конденсатор поз.5, де в результаті охолодження водою відбувається конденсація сокової пари. Конденсат зливається в гідрозатвор поз.6, звідки перекачується у відділення очищення стічних вод і газів, що відходять. Гази, що не сконденсувалися і які містять аміак і водяну пару, ежектором подаються в «хвостовий» конденсатор поз.8.

Розчин карбаміду із сепаратора поз.3 передається на другий



ступінь випарювання (випарник поз.9), а потім у сепаратор поз. 10. Розчин карбаміду при залишковому тиску 30 - 50 мм рт. ст. упарюється до концентрації 99,8 %. Для зменшення скидання карбаміду в каналізацію встановлюється форконденсатор поз.11, звідки конденсат сокової пари повертається на упарювання. Сокові пари, що не сконденсувалися, направляються в основний конденсатор поз. 14 другого ступеня. При наявності охолоджувальної води, що має температуру 24-26 °С, цей ежектор зі схеми виключається.

Із апарата поз. 14 суміш пари і рідини, що не сконденсувалася, надходить в установку, що складається із двох ежекторів та одного конденсатора поз. 17. Конденсат сокової пари з конденсаторів поз. 14 і поз. 17 направляється в гідрозатвор поз. 12, звідки направляється на технологічні потреби або на очищення. Плав карбаміду із сепаратора поз. 10 перекачується на верх грануляційної вежі поз. 18.

Ще недавно при виробництві дрібно кристалічного карбаміду на старих установках невеликої потужності випарювання розчинів здійснювалося в періодично діючих вакуум-випарних апаратах з виносними або вбудованими камерами, що гріють. У таких апаратах при випарюванні під розрідженням (100 - 110 мм рт. ст.) і температурі не більше 80 °С кінцева концентрація розчину по закінченню тривалого часу досягала 80 %. Це дозволяло при наступному охолодженні в кристалізаторі до 35 - 40 °С виділяти з розчину частину продукту у вигляді кристалів, а маточний розчин після центрифуги повертати на випарювання.

Недосконалість організації таких процесів - періодичність, тривалий дотик розчину з поверхнями, що гріють, яке сприяє утворенню біурету, необхідність рециркуляції маточного розчину. - є очевидним, особливо у світлі вимог, які пред'являються до сучасних установок великої потужності.

У промислових умовах випробувані і широко використовуються

безперервнодіючі вертикальні випарні апарати із рухомою плівкою киплячого розчину. Процес випарювання здійснюється при розрідженні (250 мм рт. ст.), температурі 115 - 118 °С и надлишковому тиску пари, що гріє, 3, 5 ат. Внаслідок нетривалого перебування розчину в зоні гарячих поверхонь ступінь перетворення карбаміду в біурет відносно невелика. При початковій концентрації розчину 54 - 58 % і кінцевої концентрації 90 - 93 % продуктивність апарата становить близько 120 кг/(м<sup>2</sup>год).

Для одержання гранульованого карбаміду розчин необхідно упарювати до консистенції плаву, концентрація якого близька до 99,8 %. Тому випарювання водяного розчину карбаміду повинне проводитися в умовах, що виключають, наскільки це можливо, шкідливий вплив температури, надмірне підвищення якої прискорює процес розкладання карбаміду і утворення біурету. При температурі, близької до температури плавлення карбаміду (132,3 - 132,65 °С), однією з вирішальних умов, що сприяють його розкладанню і утворенню біурету, є фактор часу. Тому при здійсненні процесу випарювання розчину до стану плаву необхідно пам'ятати, що час, протягом якого розчин карбаміду буде перебувати при температурі вище 110 °С, повинен бути скороченим до мінімуму. Це дозволить не тільки зменшити зміст біурету в плаві, що надходить після випарного апарата на грануляцію, а також знизити ступінь утворення біурету під час проходження плаву через грануляційну вежу. Після випарного апарата розплавлений карбамід не можна довго залишати в трубопроводі або в якій-небудь ємності при високій температурі. Недотримання цієї умови може звести нанівець всі переваги, які досягаються за рахунок максимального скорочення часу перебування розчину у випарному апараті.

З огляду на це, у нових промислових пристроях іноді розміщують випарні апарати безпосередньо на грануляційній вежі, хоча це і

пов'язане з конструктивними і експлуатаційними труднощами.

У сучасних випарних апаратах час перебування розчину становить кілька секунд, коефіцієнт теплопередачі дорівнює  $700-1000$  ккал/( $m^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}$ ), і тому при досить високому перепаді температур між теплоносієм і розчином, продуктивність таких апаратів дорівнює більше  $200$  кг/( $m^2 \cdot \text{тод}$ ).

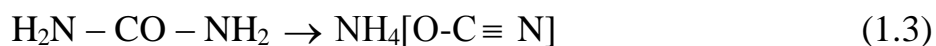
На закордонних заводах при одержанні гранульованого карбаміду апарат системи «Люва» застосовується як другий ступінь двоступеневого випарювання.

У вітчизняних цехах з виробництва гранульованого карбаміду застосовується схема одноступеневого випарювання розчинів. Для проведення цього процесу встановлюються безперервно діючі вертикальні прямоточні вакуум-випарні апарати із повзучою плівкою киплячого розчину. Кінцева концентрація плаву в таких апаратах досягає  $98\%$ , однак при цьому концентрація біурету в упареному розчині збільшується на  $0,6\%$ . Тому роботи по подальшому вдосконаленню зазначених апаратів тривають.

При випарюванні розчинів карбаміду при значному вакуумі не завжди можуть бути забезпечені умови, що запобігають випаданню твердої фази. При випадкових порушеннях режиму можлива миттєва кристалізація карбаміду в системі випарювання. Тому останнім часом починає набувати широкого застосування процес випарювання розчинів карбаміду до високих концентрацій при атмосферному тиску в струмі повітря, інертного газу або аміаку.

При випарюванні розчинів карбаміду великого значення набувають умови, у яких карбамід стійкий до гідролізу і розкладання. Основними факторами, що визначають швидкість, ступінь гідролізу і розкладання карбаміду, є температура і тривалість нагрівання [2].

Твердий карбамід, нагрітий під вакуумом до  $120 - 130$  °С, возгоняється без розкладання. При більш високих температурах ( $160 - 190$  °С) карбамід розкладається з утворенням ціаніту амонію:



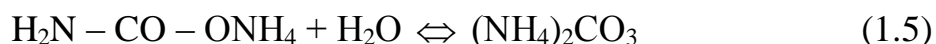
Нагрівання сухого карбаміду при атмосферному тиску вище температури плавлення (132,7 °С) призводить до утворення біурету, а при 150-190°С– ціанурової кислоти, аміаку, діоксиду вуглецю та т.д.

Водяні розчини карбаміду менш стабільні, чим чистий карбамід, тому його гідроліз і розкладання починаються вже при 60 °С. Практично при температурі нижче 80 °С розчин карбаміду у воді можна вважати цілком стійким, але вже при 90 °С зазначені реакції протікають із помітною швидкістю. При кипінні розчинів карбаміду швидкість його гідролізу сильно зростає, тому що аміак і діоксид вуглецю, які виділилися, виводяться із системи і рівновага реакції зрушується убік утворення NH<sub>3</sub> і CO<sub>2</sub>. Це призводить до того, що при випарюванні розчинів карбаміду деяка кількість його, що практично не перевищує 2 - 3%, зазвичай губиться.

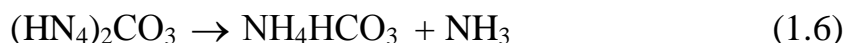
Якщо нагрівати розчини карбаміду при атмосферному тиску і температурі вище 80 °С, карбамід гідролізується в амонійну сіль карбамінової кислоти, або карбамат амонію:

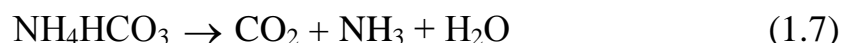


Розчиняючись у воді, карбамат амонію частково утворює карбонат амонію



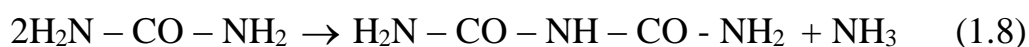
який дисоціює потім у бікарбонат амонію, який розпадається далі на CO<sub>2</sub> і NH<sub>3</sub>:





Повнота протікання реакцій гідролізу залежить від температури і тривалості процесу. Ступінь гідролізу карбамату амонію значно знижується в присутності аміаку.

При нагріванні водяних розчинів карбамід незалежно від гідролізу з помітною швидкістю піддається термічному розкладанню. При цьому виділяється аміак і біурет:



Присутність біурета в карбаміді небажана, тому що він шкідливо діє на рослини.

Ступінь перетворення карбаміду в біурет за інших рівних умов залежить тільки від температури. Для технічного карбаміду швидкість утворення біурету при 100 °С становить 0,1 % у годину. У цьому випадку зниження швидкості розкладання карбаміду є наслідком присутності в ньому забруднень.

Зберігання розчинів карбаміду при 120 - 130 °С призводить до збільшення вмісту біурету до 1 % за годину.

У виробництві карбаміду з аміаку і діоксиду вуглецю утворення біурету спостерігається в різному ступені на всіх стадіях процесу.

Однією з важливих умов, що забезпечують одержання високоякісного гранульованого карбаміду, є правильне сполучення температури і залишкового тиску в II-ому ступені випарювання. З однієї сторони для одержання мінімального вмісту біурету необхідне зниження температури в II-ому ступені. З іншої, - зниження температури при підтримці постійного залишкового тиску повинно привести до збільшення вмісту вологи і аміаку у плаві, що, у свою чергу, призводить до різкого зниження міцності гранул.

Вплив залишкового тиску на вологість готового продукту при 137 – 140 °С в II-ому ступені випарювання показано на рис. 1.3 [6].

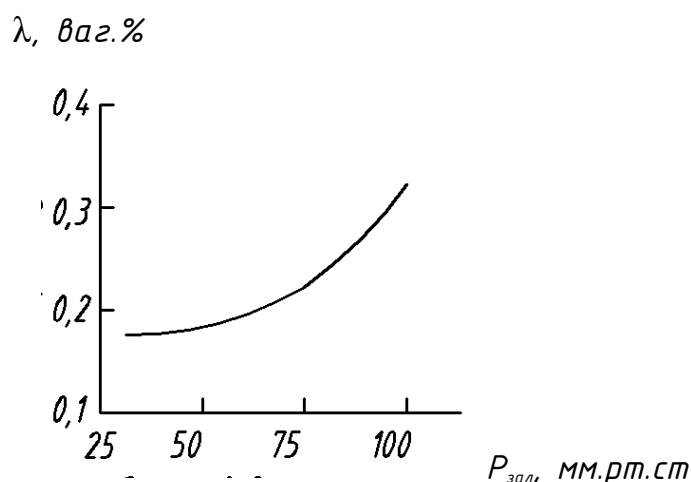


Рис. 1.3 - Вплив залишкового тиску II-го ступеня випарювання на вміст води в гранульованому карбаміді

Ще до недавнього часу при виробництві дрібно кристалічного карбаміду на установках невеликої потужності випарювання розчинів здійснювалося в періодично діючих вакуум-випарних апаратах з виносними або вбудованими гріючими камерами. У таких апаратах при випарюванні під розрядженням (100 - 110 мм рт. ст.) і температурі не більше 80 °С кінцева концентрація розчину досягала 80 %. Це дозволяло при наступному охолодженні в кристалізаторі до 35 – 40 °С виділяти з розчину частину продукту у вигляді кристалів, а матковий розчин після центрифуги повертати на випарку.

Недосконалість організації таких процесів - періодичність, тривале зіткнення розчину з гріючими поверхнями, що сприяє утворенню біурету, необхідність рециркуляції маточника й пов'язані із цим втрати тепла.

У промислових умовах широко використовуються безперевні вертикальні випарні апарати із падаючою плівкою киплячого розчину. Процес випарювання здійснюється при розрядженні (250 мм рт. ст.), температурі 115 – 118 °С і надлишковому тиску гріючої пари 3,5 ат. Внаслідок нетривалого перебування розчину в зоні гарячих поверхонь ступінь перетворення карбаміду в біурет відносно невеликий. При початковій концентрації розчину

54 – 58 % і кінцевій концентрації 90 – 93 % продуктивність апарата становить близько  $120 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$ .

Для одержання гранульованого карбаміду розчин необхідно випарювати до консистенції плаву, концентрація якого близька до 100 %. Тому випарювання водного розчину карбаміду повинно проводитися в умовах, що виключають, наскільки це можливо, шкідливий вплив температури, надмірне підвищення якої прискорює процес розкладання карбаміду й утворення біурету. При температурі, близькій до температури плавлення карбаміду ( $132,3 - 132,65 \text{ }^\circ\text{C}$ ), однією з вирішальних умов, що сприяють його розкладанню й утворенню біурету, є фактор часу. Тому при здійсненні процесу випарювання розчину до стану плаву необхідно мати на увазі, що час, протягом якого розчин карбаміду буде перебувати при температурі вище  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , повинен бути скорочений до мінімуму. Це дозволить не тільки зменшити вміст біурету в плаві, що надходить після випарного апарата на грануляцію, але також знизити ступінь утворення біурету під час проходження плаву через грануляційну вежу. Після випарного апарату розплавлений карбамід не можна довго залишати в трубопроводі або в якій-небудь ємності при високій температурі протягом тривалого часу. Недотримання цієї умови може звести нанівець всі переваги, які досягаються за рахунок максимального скорочення часу перебування розчину у випарному апараті.

У сучасних випарних апаратах час перебування розчину становить кілька секунд, коефіцієнт теплопередачі дорівнює  $700 - 1000 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}$ , тому при достатньо високому перепаді температур між теплоносієм і розчином, потужність таких апаратів дорівнює більше  $200 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$  [8] .

Патентний огляд наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Патентний огляд

Країни, за якими проведений пошук	Індекси патентної класифікації	Вид використаних джерел	Найменування і коротка характеристика винаходу
1	2	3	4
США	C07C126/02	Федеральний інститут промислової власності, <a href="http://www.fips.ru">http://www.fips.ru</a>	Патент США 3823256/23-04 від 12.11.84. C07C126/02 Спосіб концентрування частково сконцентрованого розчину карбаміду. Винахід відноситься до способу одержання практично безводного розплаву. З метою зниження витрати пари низького тиску розчин карбаміду, отриманий шляхом випарювання розчину (що містить 4-11 мас % при тиску 0,07-0,113 атм.) або шляхом упарювання вологих кристалів карбаміду, який містить 98-99,2 мас. % карбаміду, піддають скиданню тиску при адіабатичних умовах до тиску 0,013- 0,067 атм і водяну пару, яка виникла, видаляють. Одержують розплав, що містить 0,15-0,8 мас. % вологи. Спосіб дозволяє скоротити витрати пари низького тиску
Великобританія	C07C126/02	Федеральний інститут промислової власності, <a href="http://www.fips.ru">http://www.fips.ru</a>	Патент Великобританії 3814605/23-04 від 06.12.1994. C07C126/02. Спосіб одержання карбаміду. Розчин карбаміду, що підлягає випарюванню, вводять у трубки кожухотрубчастого теплообмінника. Газову суміш із 2-ої стадії розкладання подають у його кожух протитоком до розчину карбаміду. Розчин NH <sub>3</sub> і CO <sub>2</sub> з наступної стадії розкладання подають у середню частину кожуха. Конденсат вивантажують із міжтрубчастого простору в тім кінці, де розчин карбаміду вводять у трубки. Спосіб дозволяє знизити витрати пари на стадії випарювання



Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Росія	B01D3/00	Федеральний інститут промислової власності, <a href="http://www.fips.ru">http://www.fips.ru</a>	<p>Патент Росії 2002108792/12 від 21.07.2003. Л.П. Грошева та ін. Випарний апарат. Випарний апарат для випарювання рідкого реагенту з розчину містить у собі вертикальну циліндричну ємність, що складається з корпусу і окремої кришки, на якій є один патрубок для відводу пари з ємності, а на циліндричній поверхні верхньої частини корпусу ємності встановлено один патрубок для уведення в ємність розчину на випарювання і у днищі корпусу ємності є один патрубок для зливу упареного розчину з посудини, а нагрівання розчину здійснюється трубчастим теплообмінником, убудованому усередині нижньої частини корпусу ємності, що відрізняється тим, що на кришці ємності є один патрубок для уведення розчину в ємність на випарювання, а на циліндричній поверхні верхньої частини корпусу ємності є два патрубки для відводу пари з ємності, які трубопроводом з'єднані в замкнутий контур через трубчастий теплообмінник, обладнаний збірником для конденсату, а нагрівання розчину, що випарюється, здійснюють через стінки ємності електричним пристроєм, що нагріває і охоплює всю поверхню ємності зовні.</p>

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Росія	B01D3/00	Федеральний інститут промислової власності, <a href="http://www.fips.ru">http://www.fips.ru</a>	<p>Патент Росії 2282121 від 20.08.2006 Сергєєв Ю.А. та ін. Вертикальний плівковий теплообмінник. Винахід призначено для застосування в теплообмінних апаратах, а саме в теплообмінних апаратах з падаючої плівкою рідини, в яких здійснюються одночасно і масообмінні процеси, наприклад дистиляція, ректифікація, випарювання, абсорбція, конденсація, а також може бути використано в енергетиці, хімічній та інших галузях промисловості. Теплообмінник, що включає корпус з патрубками введення і виведення середовищ, теплообмінні труби, закріплені у верхній і нижній трубних ґратах, колекторну камеру рідини, розташовану над верхньою трубної ґратами, і укріплені в верхній частині кожної труби розподільні втулки, що мають отвори для входу рідини і отвори для виходу газу, який відрізняється тим, що колекторна камера містить з'єднаний з патрубком введення рідини кільцевої короб зі щілинами в нижній частині внутрішньої циліндричної поверхні коробка і опорну решітку з отворами для проходу розподільних втулок, отвори для виходу газу в розподільних втулках виконані по їх осі і розподільні втулки виконані зі звуженням у верхній частині таким чином, що сумарна площа верхніх зрізів розподільних втулок становить 10-45% від площі трубної решітки.</p>

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Росія	C05C1/02 C01C1/18	Федеральний інститут промислової власності, <a href="http://www.fips.ru">http://www.fips.ru</a>	<p>Патент Росія 2143414 від 23.04.2012. WO2012161620 A1 Ю.А. Сергеев та ін. Спосіб отримання карбаміду з аміаку і діоксиду вуглецю при підвищених температурі і тиску, молярному співвідношенні <math>\text{NH}_3 : \text{CO}_2 = (3,4-3,7) : 1</math>, в реакторі синтезу карбаміду з подальшим виділенням надлишкового аміаку з плаву синтезу карбаміду сепарацією при тиску 80-120 кгс/см<sup>2</sup>, двоступеневої дистиляцією плаву, конденсацією газів дистиляції з утворенням розчинів вуглеамонійних солей, що ре циркулюють, причому дистиляцію першого ступеня проводять при тиску 80-120 кгс/см<sup>2</sup> в струмі <math>\text{CO}_2</math>, плав після дистиляції передають на другу сходинку дистиляції, яку здійснюють при низькому тиску, газу дистиляції першого ступеня конденсують в двох послідовних зонах при тиску дистиляції першого ступеня, при цьому в першій зоні конденсацію здійснюють при введенні частини розчину вуглеамонійних солей, отриманого при конденсації газів дистиляції другого ступеня, а конденсуються пари охолоджують конденсатом, киплячим під надлишковим тиском, з отриманням пари, розчин вуглеамонійних солей, що виходить з другої зони конденсації, направляють в реактор, який відрізняється тим, що на першому місці дистиляції <math>\text{CO}_2</math> використовують в кількості 30-35% від загального його кількості, що вводиться в процес, з реактора синтезу карбаміду окремо виводять газу і рідкий плав синтезу карбаміду, газу, виведені з реактора синтезу, разом з надлишковим аміаком, виділеним на стадії сепарації, вводять в першу зону конденсації газів дистиляції першого ступеня, у другій зоні</p>

			конденсації газів дистиляції першого ступеня конденсуються пари охолоджують зворотному водою, а не сконденсовані гази при тому ж тиску промивають іншою частиною розчину вуглеамонійних солей, отриманого при конденсації газів дистиляції другого ступеня.
--	--	--	---

## 1.2 Обґрунтування способу виробництва

Неодмінною умовою покращення якості карбаміду є забезпечення високого ступеню випарювання його розчинів в випарних апаратах останнього ступеню з досягненням залишкового вмісту вологи в готовому продукті не більше 0,3%.

Виробництво міцних гранул, що не злежуються і гарно розсіюються, можливо лише при переробці плаву, що містить не менш 99,5 % мас  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Такий плав одержують випарюванням розчину у два ступені під вакуумом. Система випарювання складається з випарників, сепараторів, конденсаторів і парових ежекторів. Карбамід, одержуваний за таким способом, містить не менш 0,8 % мас. біурету.

Випарювання водяного розчину проводиться в умовах, які виключають, на скільки це можливо, шкідливий вплив температури, надмірне підвищення якої прискорює процес розкладання карбаміду і утворення біурету. Крім того до мінімуму скорочується час перебування розчину карбаміду при температурі вище 100 °С.

Щоб при випарюванні розчинів карбаміду ступінь розкладання його була мінімальною, потрібно строго дотримуватися технологічного режиму випарного пристрою. Основними показниками, що характеризують режим, є:

- тиск і температура пари, що гріє;
- залишковий тиск (розрідження) у випарному апараті;
- концентрація і температура плаву, що виходить із випарного апарату;
- температура охолоджувальної води, що надходить у конденсатор

вторинної пари;

- втрати карбаміду із вторинною парою.

Тиск насиченої пари повинен бути постійним і становити 8 - 10 ат при температурі не більше 180 °С. Підвищення тиску пари, що гріє, дає можливість при невеликих поверхнях нагрівання і меншому часі перебування розчину при порівняно високій температурі досягти необхідної концентрації  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

Втрати карбаміду визначаються різницею температур між розчином і теплоносієм. При меншій різниці температур втрати більше, ніж при більшій різниці. Справа в тому, що при меншій різниці температур вода випарюється повільніше, тобто час перебування карбаміду в киплячому розчині більше.

Втрати карбаміду не перевищують 1 %, якщо між концентрацією розчину і розрідженням у випарному апараті існує наступна залежність :

Концентрація розчину, %  $>35 >75 >90$

Розрідження, мм рт. ст.  $< 560 < 360 < 160$

Концентрація плаву, що виходить із випарного апарата, повинна бути не нижче 92 % при виробництві кристалічного карбаміду, і не нижче 99,5 % при подачі плаву на гранулювання. Температуру плаву відповідно до його концентрації потрібно підтримувати в межах 110 - 140 °С, температура води залежно від пори року може коливатися, але не повинна перевищувати 28 °С.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, НАПІВФАБРИКАТІВ, ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Сировиною для виробництва карбаміду служить рідкий синтетичний аміак і двооксид вуглецю. Вимоги, що висуваються до якості вихідної сировини, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика сировини й напівфабрикатів

№	Найменування сировини, матеріалів і напівпродуктів	Міждержавний, державний або галузевий стандарт, технологічний регламент або методика	Показники обов'язкові для контролю (найменування й одиниці виміру)	Регламентовані показники із припустимими відхиленнями
1	2	3	4	5
1	Аміак рідкий технічний	ДЕРЖСТАНДАРТ Р Т 6221-90	1. Масова частка аміаку, %	Не менш 99,6
			2. Масова частка води (залишок після випарки), %	0,02 -0,04
			3. Масова концентрація масла, мг/дм <sup>3</sup>	Не більше 8
			4. Масова концентрація заліза, мг/дм <sup>3</sup>	Не більше 1
			5. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,2-1,8 (12-18)
			6. Термодинамічна температура, К (°С)	"мінус" 33- "мінус" 28"
2	Діоксид вуглецю	ТУ-113-03-57-61- 66-73-49-92	1. Об'ємна частка двооксиду вуглецю, % об	Не менш 98,0
			2. Об'ємна частка палих (Н <sub>2</sub> + СО), % об	Не більше 0,05
			3. Об'ємна частка метану (СН <sub>4</sub> ),	Не більше 0,04
			4. Масова концентрація сірчистих сполук у перерахуванні на сірководень (Н <sub>2</sub> С), мг/нм <sup>3</sup>	Не більше 1
			5. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,017 -0,022 (0,17-0,22)
			6. Термодинамічна температура, К (°С)	343- 348 (70-75 )

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
3	Карбамидоформальдегідний концентрат		1. Масова частка формальдегіду, %	54,0 - 60,0
			2. Масова частка карбаміду, %	20,01 - 24,0
			3. Кольори по АРНА при температурі 0-25°C	Не більше 300
			4. Показник концентрації водневих іонів, рН	7,0 - 8,5
			5. Масова частка метанолу, %	Не більше 0,4
4	Азотна кислота		1. Масова частка HNO <sub>3</sub> , %	Не менш 56,0
			2. Масова частка розчинних оксидів азоту, %	0,1 - 0,15
			3. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Не менш 0,3 (3,0)
			4. Термодинамічна температура, К (°C)	303 - 313 (30-40)
5	Каталізатор рутенієво-палладієвий РПК- 1		1. Масова частка рутенію, %	0,095 - 0,150
			2. Масова частка палладію, %	0,095 - 0,150
			3. Розмір екструдатів: - діаметр, мм; - довжина, мм	4 - 6 4 - 25
			4. Механічна міцність на стирання, %	Не менш 92,5
			5. Активність - ступінь очищення від горючих, %	Не менш 98
6	Повітря технологічний		1. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Не більше 0,4-0,6 (4,0-6,0)
			2. Термодинамічна температура, К (°C)	Не більше 353(75)
7	Азот газоподібний	ДЕРЖСТАНДАР Т 9293-74	1. Об'ємна частка азоту, %	Не менш 99,95
			2. Об'ємна частка кисневих сполук, ppm	Не більше 300
			3. Масова концентрація масла, мг/м <sup>3</sup>	Не більше 30
			4. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,4- 0,6 (4,0-6,0)
8	Вода оборотна		1. Масова концентрація азоту амонійного, мг/дм	Не більше 2,0
			2. Масова концентрація азоту нітратного, мг/дм <sup>3</sup>	Не більше 10,0
			3. Масова концентрація азоту нітритного, мг/дм <sup>3</sup>	Не більше 0,2
			4. Масова концентрація міді, мг/дм <sup>3</sup>	1,0-2,0

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
			5. Показник водневих іонів, рН	6,5-8,5
			6. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Не менш 0,4 (4,0)
			7. Термодинамічна температура, К (°С)	Не більше 301 (28)
9	Повітря стисле для живлення приладів КВПіА	ДЕРЖСТАНДАР Т174333-80	1. Масова концентрація масла, мг/дм <sup>3</sup>	відсутність
			2. Масова концентрація механічних домішок, мг/дм <sup>3</sup>	відсутність
			3. Крапка роси, °С	Не вище "мінус" 40
			4. Тиск МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,6 -0,8 (6,0 - 8,0)
10	Вода демінералізована		1. Тиск МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Не менш 0,3 (3,0)
			2. Термодинамічна температура, К (°С)	Не більше 303(30)
			3. Масова концентрація солей твердості, мг-екв/дм <sup>3</sup>	відсутність
			4. Масова концентрація іонів натрію, мг/дм <sup>3</sup>	Не більше 0,1
			5. Електропровідність, мкс	Не більше 0,02
			3. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Не менш 0,3 (3,0)
			4. Термодинамічна температура, К (°С)	Не більше 303(30)
11	Вода хімоочищена		1. Загальна твердість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Не більше 10
12	Пара перегріта		1. Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	3,56-4,0 (35,6 -40)
			2. Термодинамічна температура, К (°С)	649-693 (376-420)
13	Масло ІГП-114		1. Зовнішній вигляд	Однорідна прозора рідина
			2. В'язкість кінематична при 40°С, мм <sup>2</sup> /с	186-205
			3. Індекс в'язкості,	не менш 90
			4. Зольність	не більше 0,2
			5. Щільність при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	Не більше 900
			6. Кислотне число, мг КОН на 1 мг масла	Не більше 1,0
			7. Вміст механічних домішок, %	Відсутність
			8. Вміст води	Сліди
			9. Температура застигання, °С	Не вище "мінус" 15



Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
			10. Температура спалаху, обумовлена у відкритому	Не нижче 230
			11. Кольори , одиниці ЦНТ	Не більше 7
			12. Антикорозійні властивості ступінь корозії	Відсутність
			13. Масова частка цинку, %	Не менш 0,04
			14. Масова частка сірки, %	Не більше 1,0
			15. Число омилення , мг КОН на мг масла	0,8-2,5

Діоксид вуглецю — за звичайних умов безбарвний газ з кислуватим смаком. Під тиском 35,5 атм і температурі 0°C конденсується в безбарвну рідину, не змішуючись з водою, але розчинну в спирті, маслах та ефірі.

Рідкий діоксид вуглецю при сильному охолодженні перетворюється на білу снігоподібну масу, яка при нагріванні випаровується, не плавлячись.

Газоподібний діоксид вуглецю в звичайних умовах порівняно мало розчиняється у воді: 1 об'єм води розчиняє близько 1 об'єму діоксиду вуглецю.

Володіє кислотними властивостями, які виявляються при взаємодії його з лугами.

Характер і вміст домішок у  $\text{CO}_2$  залежать від способів його одержання. У цей час для виробництва карбаміду використовують  $\text{CO}_2$  - відхід виробництва аміаку на основі процесів конверсії вуглеводневої сировини. Діоксид вуглецю відокремлюють від синтезу-газу, який використовується для одержання аміаку, шляхом абсорбції водяними розчинами органічних або неорганічних основ з наступною регенерацією цих розчинів. Виділений у такий спосіб  $\text{CO}_2$  містить домішки компонентів синтезу-газу ( $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$ ), а також сірчистих сполук. Джерелом останніх є вуглеводнева сировина.

Домішки, що містяться в сировині, істотно впливають на процес виробництва карбаміду:

- знижують ефективність процесу синтезу через надходження в реактор

газів, інертних стосовно процесу;

- підсилюють корозійну активність реакційного середовища;
- створюють вибухонебезпечність у різних вузлах через наявність горючих компонентів.

Найбільша увага приділена очищенню CO<sub>2</sub>, тому що вміст домішок у ньому приблизно на порядок вище, ніж в NH<sub>3</sub>.

Аміак - у звичайних умовах є безбарвним газом з різким, задушливим запахом, рідкий аміак - безбарвна рідина.

Аміак, охолоджений при атмосферному тиску до температури нижче мінус 33,4 °С або стиснений при 15 °С під тиском вище 7,5 атм, перетворюється в безбарвну рідину. При температурі мінус 77,7 °С рідкий амоніак твердне, кристалізуючись в безбарвну масу зі слабким запахом.

Якщо газоподібний аміак нагріти до температури вище 132 °С (критична температура), то ні при якому тиску його не можна перетворити в рідкий стан. За нормальних умов 1 кг рідкого амоніаку утворює більш 1300 л газу.

Під тиском аміак порівняно легко зріджується. Він дуже добре розчиняється у воді, утворюючи аміачну воду різної концентрації.

Карбамід випускають у вигляді кристалічного або гранульованого продукту. За фізико - хімічними показниками готова продукція повинна відповідати вимогам, наведеним у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Властивості карбаміду

№	Найменування показників	ДЕРЖСТАНДАРТ- 2081-92			
		Марка А		Марка Б	
		вищий сорт	1 сорт	вищий сорт	1 сорт
		перша категорія якості	перша категорія якості		
1	Зовнішній вигляд	Білі кристали або гранули	Білі або слабко забарвлені кристали або гранули	Білі кристали або Слабкозабарвлені гранули	
2	Масова частка азоту в перерахуванні на суху речовину, % не менш	46,3	46,2	46,2	46,2

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
3	Масова частка біурету, % не більше	0,6	1,4	1,4	1,4
4	Масова частка вільного аміаку (NH <sub>3</sub> ), % не більше для карбаміду: кристалічного гранульованого	0,01 0,02	0,01 0,03	не нормується не нормується	
5	Масова частка води, % не більше: - метод висушування - метод Фішера	0,2 0,6	0,3 0,6	0,3 0,5	0,3 0,5
6	Розсипчастість, %	не норм	не норм	100	100
7	Гранулометричний склад - масова частка для гранул розміром: 1-4 мм, %, не менш; 2-4 мм, %, не менш; менш 1мм, %, не більше; залишок на ситі діаметром 6 мм, не більше	не нормується не нормується не нормується не нормується		94 70 3 Відсутність	94 50 5 Відсутність
8	Статична міцність гранул, кгс/гранулу, не менш	не нормується		0,7	0,5

Карбамід H<sub>2</sub>NCONH<sub>2</sub> є амідом карбаминової кислоти H<sub>2</sub>NCOOH або повним амідом вугільної кислоти HОСООН. Вміст азоту в амідній формі 46,65%.

У чистому вигляді карбамід є безбарвною кристалічна речовина, що не має запаху, кристали якої мають форму довгих голок або ромбічних призм. Продукт, що випускається промисловістю може бути слабо забарвлений в жовтуватий або рожевий колір, що пояснюється присутністю домішок, зокрема солей заліза. Чистий карбамід містить 46,6 %нітрогену, або в перерахунку на NH<sub>3</sub> - 56,7 %

Щільність кристалічного карбаміду при 20°C дорівнює 1335 кг/м<sup>3</sup>, насипна щільність залежить головним чином від типу й розміру кристалів,

фракційної сполуки гранул і від вмісту вологи в продукті й перебуває в межах 0,7 - 0,8 кг/дм<sup>3</sup>.

Карбамід, нагрітий у вакуумі до 120-130°C, переганяється без розкладання, при більш високих температурах 160-190°C розкладається з утворенням цианату амонію.

При атмосферному тиску і температурі 180-190°C карбамід розпадається з утворенням біурету, ціанурової кислоти і амеліду.

При температурі вище 200°C він розкладається на аміак і ціанурову кислоту.

Карбамід добре розчиняється у воді, з підвищенням температури його розчинність збільшується. Він також розчиняється у спиртах, але мало розчиняється у ефірі, бензолі, не розчиняється у хлороформі і більшості органічних розчинників.

Основні фізико-хімічні властивості карбаміду наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Основні фізико-хімічні властивості карбаміду

Властивості	Значення
1. Відносна молекулярна маса, кг/кмоль	60,06
2. Густина, кг/м <sup>3</sup> кристалічного при 25°C розплаву при 132,7°C	1330 1227
3. Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup> кристалічного при вогкості 0,5% гранульованого при вогкості 0,5 – 1,7%	640 682-736
4. Тепло плавлення, кДж/моль	14,5
5. Температура плавлення, °C при 100 кПа при 30 МПа	132,7 150
6. Питома теплоємність при 20°C, кДж/(кг·K)	1,34
7. Теплопровідність розплаву при 140°C, Вт/(м·K)	0,413
8. Динамічна в'язкість розплаву при 132,7°C, МПа·с	2,58
9. Тепло випаровування з водних розчинів (при 3,33-60 кПа), кДж/моль	77,5
10. Тепло розчинення у воді, кДж/кг	242

### 3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

Діюча технологічна схема виробництва карбаміду складається з наступних вузлів:

- компресія  $\text{CO}_2$ .
- компресія  $\text{NH}_3$ .
- компресія повітря КВП і А.
- маслопункт.
- синтез карбаміду.
- рециркуляція (перегонка).
- виробництво пари і система конденсату.
- випарювання розчину.
- вузол зберігання КФС і станція зливу.
- вузол введення КФС.
- гранулювання карбаміду.
- абсорбція.
- десорбція і гідроліз.
- склад готового продукту із класифікацією і станцією відвантаження.
- система пиловловлення.
- спеціальний водооборотний цикл.
- система стічних вод.
- ємність конденсату без хлоридів.
- газгольдери азоту і повітря КВП.

Виробництво карбаміду базується на реакції взаємодії аміаку з двооксидом вуглецю. Реакція протікає при температурі 160 - 185 °С і тиску 13,3-14,2 МПа за рівняннями (1.1, 1.2).

Вузол випаровування призначений для отримання плаву карбаміду з водного розчину. Реакція протікає при температурі 160-185 °С та тиску 13,3 - 14,2 МПа (133-142 кгс/см<sup>2</sup>). Процес проводиться у два ступені.

Апаратне оформлення процесу включає наступне основне технологічне устаткування: випарник 1-го ступеня поз. 1, сепаратор випаровування 1-го ступеня поз. 2, випарник випаровування II-го ступеня поз. 3, сепаратор випаровування II-го ступеня поз. 4, конденсатор випаровування 1-го ступеня поз. 15.

Допоміжним устаткуванням є: насос плаву карбаміду поз. 8, ежектор випаровування I-го та II-го ступеня поз. 11, 12, 13, 14, насос аміачної води поз. 9, насос карбаміду поз. 10.

Розчин з масовою часткою карбаміду не менш 60 % з температурою 85 - 98 °С подається насосом поз. 10 через підігрівник поз. 5 у випарник поз. 1ВП першого ступеня випарювання. Випарники першого і другого ступенів випарювання представляють собою кожухотрубчасті теплообмінники, які у верхній частині сполучені із сепараторами.

На першому ступені розчин карбаміду випарюється при температурі 130 - 140 °С і абсолютному тиску 25-45 кПа. Пара з тиском не більше 0,5 МПа подається в міжтрубний простір випарника.

Суміш пари і рідини із випарника надходить у сепаратор поз. 2 першого ступеня випарювання, де сокові пари відділяються від розчину карбаміду. Розчин карбаміду із сепаратора поз. 2 надходить у випарник поз. 3 другого ступеня випарювання.

На другому ступені розчин випарюється при температурі 140-145 °С і абсолютному тиску 2-6 кПа. Пара з тиском не більше 1 МПа подається в міжтрубний простір випарника.

Парорідинна суміш із випарника поз. 3ВП надходить у сепаратор поз. 4С другого ступеня випарювання. У сепараторі сокові пари відокремлюються від плаву. Плав карбаміду із сепаратора надходить на всас насоса поз. 8 і подається на грануляцію.

Під час пуску вузла випарювання, до виходу на нормальний режим, плав карбаміду циркулює від насоса поз. 8 у збірник карбаміду поз. 7.

Сокова пара із сепаратора поз. 2 першого ступеня випарювання надходить у конденсатор поз. 15 першого ступеня випарювання. Пара і інерти,

що не сконденсувалися з конденсатора ежектором поз. 11 подаються в кінцевий конденсатор поз. 18. Для кращого вловлювання аміаку з інертів у кінцевий конденсатор поз. 18 насосом поз. 9 подається амвода.

Сокова пара із сепаратора поз. 4 другого ступеня випарювання ежектором поз. 12 подається в перший конденсатор поз. 16 другого ступеня випарювання. Пара і інерти, що не сконденсувалися з конденсатора поз. 16 другим ежектором поз. 13 подаються в другий конденсатор поз. 17 другого ступеня випарювання. Після цього конденсатора пара, що не сконденсувалась третім ежектором поз. 14 подається в кінцевий конденсатор поз. 18.

Після кінцевого конденсатора поз. 18 пара і інерти відводяться для остаточного вловлювання аміаку в колону абгазів конденсації, що зрошується охолодженою стічною або аміачною водою.

Конденсат сокової пари з конденсаторів поз. 15, 16, 17, 18 самопливом виводяться в збірник аміачної води поз. 6. Як холодоагент в конденсаторах використовується оборотна вода.

Для запобігання наростання карбаміду на відбійній тарілці сепаратора поз. 2С першого ступеня випарювання, у газоході із сепаратора поз. 4 другого ступеня випарювання до ежектора поз. 12 передбачені промивання аміачною водою від насоса поз. 9 через форсунки. Щоб уникнути забивання газоходу після ежектора поз. 12 до конденсатора поз. 16 передбачені промивання аміачною водою від насоса поз. 9.

Пара для ежекторів поз. 11, 12, 13, 14 подається із цехового колектору пари низького тиску. При зупинках, ремонтах, оглядах збірника поз.7 розчин карбаміду насосом поз.10 відкачується в цех М-2. У випадку виробничої необхідності можливий прийом розчину карбаміду із цеху М-2 у збірник поз. 7.

## 4 МАТЕРІАЛЬНІ І ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ

### 4.1 Матеріальні розрахунки

Продуктивність по карбаміду складе:

$$P = \frac{330000}{330 \cdot 24} = 41,67 \text{ т/год} = 41667 \text{ кг/год}$$

Розрахунок ведем на 1000 кг початкового розчину карбаміду.

Початковий розчин карбаміду концентрацією 67,4% [7], що поступає на 1 ступінь упарювання, містить:

карбамід.....	67,4%
біурет.....	1,4%
вільний аміак.....	0,3%
вода.....	30,9%

Кількість карбаміду складе:

$$m_k = 1000 \cdot 0,674 = 674 \text{ кг}$$

Кількість біурету та вільного аміаку складе:

$$m_b = 1000 \cdot 0,014 = 14 \text{ кг}$$

$$m_a = 1000 \cdot 0,003 = 3 \text{ кг}$$

Кількість води складе:

$$m_g^n = 1000 \cdot 0,309 = 309 \text{ кг}$$

Розчин карбаміду концентрацією 95% [7], що виходить з випарника 1 ступеня, містить 674 кг, тоді маса цього розчину складе:

$$m_{95\% \text{ розчину}} = \frac{674 \cdot 100}{95} = 709,474 \text{ кг}$$

Маси біурету та аміаку залишаються незмінними, тоді маса води складе:

$$m_g^k = 709,474 - 674 - 14 - 3 = 18,474 \text{ кг}$$

Маса сокової пари буде складати [10]:

$$m_{c.n.} = m_g^n - m_g^k = 309 - 18,474 = 290,526 \text{ кг}$$

Всі дані зводимо в таблицю матеріального балансу 1 ступеня випарювання:



Таблиця 4.1 - Таблиця матеріального балансу 1 ступеня випарювання

Прихід			Витрати		
Компонент	кг	% мас.	Компонент	кг	% мас.
67,4% розчин карбаміду, в т.ч.			1) 95% розчин карбаміду, в т.ч.	709,474	70,9
карбамід	674	67,4	карбамід	674	
біурет	14	1,4	біурету	14	
вільний аміак	3	0,3	вільний аміак	3	
вода	309	30,9	вода	18,474	
			2)сокова пара	290,526	29,1
Разом	1000	100	Разом	1000	100

Далі плав карбаміду разом з соковою парою надходить до сепаратора 1 ступеня, де від плаву карбаміду відокремлюється сокова пара у кількості:

$$m_{с.п.} = 1000 - 709,474 = 290,526 \text{ кг}$$

На 2 ступінь випарювання подається 95% розчин карбаміду [7], що містить:

карбамід.....95%.....674кг  
біурет.....1,97%.....14кг  
вільний аміак.....0,4%.....3кг  
вода.....2,63%.....18,474кг

Після 2 ступеня випарювання з апарату виходить розчин карбаміду концентрацією 99,7%, що містить 674 кг карбаміду, тоді маса цього розчину складе [10]:

$$m_{99,7\% \text{ розчину}} = \frac{674 \cdot 100}{99,7} = 676,231 \text{ кг}$$

Під час упарювання розчину карбаміду на 2 ступені випарювання з нього відходить весь вільний аміак у кількості 3 кг. В самому 95%-му розчині карбаміду залишається 0,03% біурету, а саме 0,203 кг. Маса відводимого біурету складе:

$$m_6 = 14 - 0,203 = 13,797 \text{ кг}$$

Тоді маса води в 97,7% розчині карбаміду буде складати:

$$m_6^к = 676,231 - 674 - 0,203 = 2,028 \text{ кг}$$

Маса сокової пари складатиме:

$$m_{c.n.} = 18,474 - 2,028 = 16,446 \text{ кг}$$

Дані зводимо в таблицю матеріального балансу 2 ступеня випарювання:

Таблиця 4.2 - Таблиця матеріального балансу 2 ступеня випарювання

Прихід			Витрати		
Компонент	кг	% мас.	Компонент	кг	% мас.
95% розчин карбаміду, в т.ч.			1) 99,7%-ий розчин карбаміду, в т.ч.	676,231	95,3
карбамід	674	95,0	карбамід	674	
біурет	14	2,0	біурет	0,203	
вільний аміак	3	0,4	вода	2,028	
вода	18,474	2,6	2) сокова пара, в т.ч.	33,239	4,7
			вода	16,464	
			аміак	3	
			біурет	13,797	
Разом	709,47	100	Разом	709,474	100

Далі плав карбаміду разом з соковою парою надходить до сепаратора 2 ступеня, де від плава карбаміду відокремлюється сокова пара у кількості:

$$m_{c.n.} = 709,474 - 676,231 = 33,194 \text{ кг}$$

яка містить в собі також вільний аміак у кількості 3 кг та біурет у кількості 13,797 кг.

Втрата карбаміду на другому ступеню складе 5% [7], тоді:

$$m_{\text{карб.}} = 41667 \cdot 1,005 = 43750 \text{ кг}$$

Коефіцієнт перерахунку на потужність буде [9]:

$$K = \frac{43750}{676,231} = 64,697$$

Після перерахунку отримуємо дані, зведені в таблиці 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 - Таблиця матеріального балансу 1 ступеня випарювання в перерахунку на потужність

Прихід			Витрати		
Компонент	кг/год	% мас.	Компонент	кг/год	% мас.
67,4% розчин карбаміду, в т.ч.			1) 95% розчин карбаміду, в т.ч.	45901	70,9
карбамід	43606	67,4	карбамід	43606	
біурет	906	1,4	біурет	906	
вільний аміак	194	0,3	вільний аміак	194	
вода	19991	30,9	вода	1195	
			2) сокова пара	18796	29,1
Разом	64697	100	Разом	64697	100

Таблиця 4.4 - Таблиця матеріального балансу 2 ступеня випарювання в перерахунку на потужність

Прихід			Витрати		
Компонент	кг/год	% мас.	Компонент	кг/год	% мас.
95% розчин карбаміду, в т.ч.			1) 99,7% розчин карбаміду, в т.ч.	43750	95,3
карбамід	43606	95,0	карбамід	43606	
біурет	906	2,0	біурет	13	
вільний аміак	194	0,4	вода	131	
вода	1195	2,6	2) сокова пара, в т.ч.	2151	4,7
			вода	1065	
			аміак	194	
			біурет	893	
Разом	45901	100	Разом	45901	100

## 4.2 Теплові розрахунки

Вихідні дані:

Температура на вході на 1 ступінь.....125 °С

Температура на виході з 1 ступеню .....140 °С

Тиск на 1 ступіні .....0,5 МПа

Тиск на 2 ступені .....1 МПа

Температура на вході на 2 ступінь.....135 °С

Температура на виході з 2 ступеня.....145 °С

Молярні маси [12]:

карбаміду.....60 кг/моль

вільного аміаку .....17 кг/моль

біурету.....143 кг/моль

води.....18 кг/моль

Питома теплота пароутворення [13]:

$P = 4 \text{ кг/см}^2$  дорівнює 2141 кДж/кг

$P = 5 \text{ кг/см}^2$  дорівнює 2117 кДж/кг

$P = 9 \text{ кг/см}^2$  дорівнює 2040 кДж/кг

$P = 10 \text{ кг/см}^2$  дорівнює 2024 кДж/кг

Тепловий баланс 1 ступеня випарювання [9]:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{витр.}} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{67,4\% \text{ р-ну карб.}} \quad (4.2)$$

де  $Q_{67,4\% \text{ р-ну карб}}$  – теплота, яка вноситься з 67,4%-вим розчином карбаміду, кДж

$$Q_{\text{витр.}} = Q_{95\% \text{ р-ну карб.}} - Q_{\text{с.п.}} \quad (4.3)$$

де  $Q_{95\% \text{ р-ну карб}}$  – теплота, яка виводиться з 95%-вим розчином карбаміду, кДж;

$Q_{\text{с.п.}}$  – теплота сокової пари, кДж

З 67,4% - ним розчином карбаміду вноситься тепло:

$$Q_{67,4\% \text{ р-ну карб}} = G_{\text{р-ну карб}} \cdot C_{\text{р-ну карб}} \cdot T_{\text{ВХ}} \quad (4.4)$$

де  $G_{\text{р-ну карб}}$  – масова витрата розчину карбаміду, кг;

$C_{\text{р-ну карб}}$  – теплоємність розчину карбаміду, Дж/(моль · град);

$T_{\text{ВХ}}$  – температура на вході у випарник 1 ступеня випарювання

Розрахуємо теплоємність 67,4% - го розчину карбаміду [9]:

$$C_{\text{р карбаміду}} = 26,8 \cdot n \quad (4.5)$$

де  $n$  – число атомів у сполуці

$$C_{\text{р карбаміду}} = 26,8 \cdot 8 = 214,4 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

$$C_{\text{р біурету}} = 26,8 \cdot 12 = 321,6 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

$$C_{\text{р аміаку}} = 26,8 \cdot 4 = 107,2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

$$C_{\text{р води}} = 18 \cdot 4,19 = 75,42 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

У 100г розчину міститься:

$$67,4 \text{ г} - (\text{NH}_2)_2\text{CO}$$

$$1,4 \text{ г} - \text{H}_2\text{NCONHCONH}_2$$

$$0,3 \text{ г} - \text{NH}_3$$

$$30,9 \text{ г} - \text{H}_2\text{O}$$

Розрахуємо кількість молей усіх компонентів:

$$n_{\text{карбаміду}} = \frac{67,4}{60} = 1,123 \text{ моль}$$

$$n_{\text{біурету}} = \frac{1,4}{143} = 0,009 \text{ моль}$$

$$n_{\text{аміаку}} = \frac{0,3}{17} = 0,018 \text{ моль}$$

$$n_{\text{води}} = \frac{30,9}{18} = 1,717 \text{ моль}$$

$$n_{\text{р-ну карб.}} = 1,123 + 0,009 + 0,018 + 1,717 = 2,867 \text{ моль}$$

Розрахуємо мольні доли компонентів:

$$W_{\text{карбаміду}} = \frac{1,123}{2,867} = 0,392 \text{ або } 39,2\%$$

$$W_{\text{біурету}} = \frac{0,009}{2,867} = 0,003 \text{ або } 0,3\%$$

$$W_{\text{аміаку}} = \frac{0,018}{2,867} = 0,006 \text{ або } 0,6\%$$

$$W_{\text{води}} = \frac{1,717}{2,867} = 0,599 \text{ або } 59,9\%$$

Тоді теплоємність 67,4% - го розчину карбаміду складе:

$$C_{\text{р-ну карб.}} = 214,4 \cdot 0,392 + 321,6 \cdot 0,003 + 107,2 \cdot 0,006 + 75,42 \cdot 0,599 = 130,83 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

$$Q_{67,4\% \text{ р-ну карб.}} = \frac{64697}{60} \cdot 130,83 \cdot 125 = 17633976 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{67,4\% \text{ р-ну карб.}} = 17633,976 \text{ кДж}$$

З 95% - ним розчином карбаміду виноситься тепло:

$$Q_{95\% \text{ р-ну карб.}} = G_{\text{розч. карб.}} \cdot C_{\text{р-ну карб.}} \cdot T_{\text{ВИХ}} \quad (4.6)$$

де  $G_{\text{р-ну карб}}$  – масова витрата розчину карбаміду, кг;

$C_{\text{р-ну карб}}$  – теплоємність розчину карбаміду, Дж/(моль · град);

$T_{\text{ВИХ}}$  – температура на виході з випарника 1 ступеня випарювання

Розрахуємо теплоємність 95% - го розчину карбаміду [9]. У 100г розчину міститься:

95 г  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

1,4 г -  $\text{H}_2\text{NCONHCONH}_2$

0,3 г -  $\text{NH}_3$

3,3 г -  $\text{H}_2\text{O}$

Розрахуємо кількість молей усіх компонентів:

$$n_{\text{карбаміду}} = \frac{95}{60} = 1,583 \text{ моль}$$

$$n_{\text{біурету}} = \frac{1,4}{143} = 0,009 \text{ моль}$$

$$n_{\text{аміаку}} = \frac{0,3}{17} = 0,018 \text{ моль}$$

$$n_{\text{води}} = \frac{3,3}{18} = 0,183 \text{ моль}$$

$$n_{\text{р-ну карб.}} = 1,583 + 0,009 + 0,018 + 0,183 = 1,793 \text{ моль}$$

Розрахуємо мольні доли компонентів:

$$W_{\text{карбаміду}} = \frac{1,583}{1,793} = 0,883 \text{ або } 83,3\%$$

$$W_{\text{біурету}} = \frac{0,009}{1,793} = 0,005 \text{ або } 0,5\%$$

$$W_{\text{аміаку}} = \frac{0,018}{1,793} = 0,01 \text{ або } 1\%$$

$$W_{\text{води}} = \frac{0,183}{1,793} = 0,102 \text{ або } 10,2\%$$

Тоді теплоємність 95% - го розчину карбаміду складе:

$$C_{\text{р-ну}} = 214,4 \cdot 0,883 + 321,6 \cdot 0,005 + 107,2 \cdot 0,01 + 75,42 \cdot 0,102 = 199,688 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{град)}$$

$$Q_{95\% \text{ р-ну}} = \frac{45901}{60} \cdot 199,688 \cdot 140 = 21387051 \text{ кДж}$$

Кількість тепла, яке виноситься соковою парою:

$$Q_{\text{с.п.}} = G_{\text{с.п.}} \cdot r \quad (4.7)$$

де  $r$  – питома теплота пароутворення;

$G_{\text{с.п.}}$  – масова витрата сокової пари, кг

Розрахуємо її для сокової пари при  $P = 0,5$  МПа [11]

$$P = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = \frac{0,5 \cdot 10^6}{1000 \cdot 101,3} = 4,936 \text{ кг/см}^2$$

$$r_{4,936} = 2139,464 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{\text{с.п.}} = 18796 \cdot 2139,464 = 40213,365 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{втрат}} = 0,05 \cdot 17633,976 = 881,689 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{витр.}} = 40213,365 + 21387,051 + 881,689 = 62482,109 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{витр.}} > Q_{\text{прих}} \quad (4.8)$$

$$Q_{\text{гр.п.}} = 62482,109 - 17633,976 = 44848,313 \text{ кДж}$$

Дані зводимо в таблицю теплового балансу 1 ступеня випарювання (табл. 4.5):

Таблиця 4.5 - Таблиця теплового балансу I ступеня випарювання

Прихід		Витрати	
Компонент	кДж	Компонент	кДж
$Q_{67,4\% \text{ р-ну карб.}}$	17633,976	$Q_{95\% \text{ р-ну}}$	21387,051
$Q_{\text{гр.п.}}$	44848,313	$Q_{\text{с.п.}}$	40213,365
		$Q_{\text{вит.}}$	881,689
Разом	62482,109	Разом	62482,109

Тепловий баланс 2 ступеня випарювання

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{витр.}} \quad (4.9)$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{95\% \text{ р-ну карб.}} \quad (4.10)$$

де  $Q_{95\% \text{ р-ну карб.}}$  - теплота, яка вводиться з 95%-вим розчином карбаміду, кДж

з 95% - ним розчином карбаміду вноситься тепло:

$$Q_{95\% \text{ р-ну}} = \frac{45901}{60} \cdot 199,688 \cdot 135 = 20623227 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{прих}} = Q_{95\% \text{ р-ну карб.}} = 20623,227 \text{ кДж}$$

з 99,7% - ним розчином карбаміду виноситься тепло:

$$Q_{99,7\% \text{ р-ну карб.}} = G_{\text{розч. карб.}} \cdot C_{\text{р-ну карб.}} \cdot T_{\text{ВИХ}} \quad (4.11)$$

$G_{\text{р-ну карб}}$  – масова витрата розчину карбаміду, кг;

$C_{\text{р-ну карб}}$  – теплоємність розчину карбаміду, Дж/(моль · град);

$T_{\text{ВИХ}}$  – температура на виході з випарника 1 ступеня випарювання

Розрахуємо теплоємність 99,7% - го розчину карбаміду [9]. У 100г розчину міститься:

99,7 г -  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

0,003г -  $\text{H}_2\text{NCONHCONH}_2$

0,297 г -  $\text{H}_2\text{O}$

Розрахуємо кількість молей усіх компонентів:

$$n_{\text{карбаміду}} = \frac{99,7}{60} = 1,662 \text{ моль}$$

$$n_{\text{біурету}} = \frac{0,003}{143} = 0,00002 \text{ моль}$$

$$n_{\text{води}} = \frac{0,297}{18} = 0,017 \text{ моль}$$

$$n_{\text{р-ну карб.}} = 1,662 + 0,00002 + 0,017 = 1,67902 \text{ моль}$$

Розрахуємо мольні доли компонентів:

$$W_{\text{карбаміду}} = \frac{1,662}{1,67902} = 0,989 \text{ або } 98,9\%$$

$$W_{\text{біурету}} = \frac{0,00002}{1,67902} = 0,0001 \text{ або } 0,1\%$$

$$W_{\text{води}} = \frac{0,017}{1,67902} = 0,010 \text{ або } 1\%$$

Тоді теплоємність 99,7% - го розчину карбаміду складе:

$$C_{\text{р-ну}} = 214,4 \cdot 0,989 + 321,6 \cdot 0,0001 + 75,42 \cdot 0,01 = 212,799 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{град})$$

$$Q_{99,7\% \text{ р-ну}} = \frac{43750}{60} \cdot 212,799 \cdot 145 = 22499061 \text{ кДж}$$

Кількість тепла, яке виноситься соковою парою:

$$Q_{\text{с.п.}} = G_{\text{с.п.}} \cdot r \quad (4.12)$$



де  $r$  – питома теплота пароутворення,

$G_{с.п.}$  – масова витрата сокової пари, кг

Розрахуємо її для сокової пари при  $P = 1$  МПа [9]

$$P = 1 \cdot 10^6 \text{ Па} = \frac{1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 101,3} = 9,872 \text{ кг/см}^2$$

$$r_{9,872} = 2037,952 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{с.п.} = 2151 \cdot 2037,952 = 4383,634 \text{ кДж}$$

$$Q_{втрат} = 0,05 \cdot 20623,227 = 1031,161 \text{ кДж}$$

$$Q_{витр.} = 22499,061 + 4383,634 + 1031,161 = 27913,856 \text{ кДж}$$

$$Q_{витр.} > Q_{прих}$$

$$Q_{гр.п.} = 27913,856 - 20623,227 = 7290,629 \text{ кДж}$$

Дані зводимо в таблицю теплового балансу 2 ступеня випарювання (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 - Таблиця теплового балансу 2 ступеня випарювання

Прихід		Витрати	
Компонент	кДж	Компонент	кДж
$Q_{95\% \text{ р-ну карб.}}$	20623,227	$Q_{99,7\% \text{ р-ну}}$	22499,061
$Q_{гр.п.}$	7290,629	$Q_{с.п.}$	4383,634
		$Q_{вит}$	1031,161
Разом	27913,856	Разом	27913,856

Витрата пари на обох ступенях випарювання складе:

$$Q_{підв} = 44848,313 + 7290,629 = 52138,942 \text{ кДж або } 0,012274 \text{ Гкал}$$

## 5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ГОЛОВНОГО АПАРАТУ

Витрата гріючої пари у випарному апараті І-го ступеня складе [12]:

$$D = \frac{Q}{r_{г.п.}} = \frac{6982908255}{2139464} = 32638587 \text{ кг/год}$$

Поверхня нагріву випарювального апарату І-го ступеня:

$$F = \frac{D \cdot r_{г.п.}}{K \cdot \Delta t_{пол}}$$

Так як ми комбінуємо два апарати разом, то температурними витратами можна знехтувати. Тоді:

$$F = \frac{6982908255}{2500 \cdot 15 \cdot 3600} = 517,252 \text{ м}^2$$

Характеристика теплообмінника [13]:

Число труб .....	747 шт
Ходів.....	1
Діаметр кожуха.....	1000 мм
Довжина труб.....	9 м
Поверхня нагріву.....	528 м <sup>2</sup>
Умовний діаметр штуцера.....	300 мм
Для міжтрубного простору.....	300 мм
Розрахуємо напругу парового простору:	

$$W' = W_{атм} \cdot f_1 \cdot f_2 = 2600 \cdot 3,1 \cdot 0,1 = 806 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$$

де  $W_{атм} = 2600 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$  – допустима напруга парового простору при тиску 0,45 МПа;  $f_1 = 3,1$  при тиску 0,45 МПа;  $f_2 = 0,1$  при тиску 0,45 МПа [14].

Розрахуємо об'єм парового простору сепаратора [14]:

$$V_c = \frac{W}{W'} = \frac{32639191}{806} = 40,5 \text{ м}^3$$

Розрахунковий тиск приймаємо рівному робочому:

$$P_{\text{розр.}} = P_{\text{робоч.}} = 0,45 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

При позитивних температурах за розрахункову температуру стінки елемента судини чи апарату належить приймати найбільше значення температури стінки. Звичайно розрахункова температура стінки приймається рівною робочій температурі:

$$T_{\text{розр.}} = T_{\text{робоч.}} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для визначення дозволеного напруження матеріалу елемента, що розраховується, при розрахунковій температурі необхідно знати матеріал елемента і його розрахункову температуру, та користуючись довідниками чи ДОСТ 14249 - 89, визначаємо дозволене напруження  $\sigma_d = 135 \text{ МПа}$ .

Числові значення коефіцієнта міцності зварного шову повинні відповідати наведеним в обов'язковому додатку 5 ДОСТу 14249 - 89. Для безшовних елементів судин і апаратів  $\varphi = 1$ .

У розрахунку судин і апаратів необхідно враховувати збільшення "С" до розрахункової товщини елементів судин і апаратів. Збільшення на корозію звичайно приймаємо 1 – 1,5 мм, що відповідає швидкості корозії 0,1 мм/рік.

Розрахунок обичайки, навантаженої внутрішнім тиском проводять за ДОСТ 14249 - 89.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_{\text{розр.}} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} = \frac{0,45 \cdot 10^6}{2 \cdot 135 \cdot 10^6 \cdot 1 - 0,45 \cdot 10^6} = 1,669 \text{ мм}$$

де  $P$  – розрахунковий внутрішній тиск, МПа;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки, мм;

$[\sigma]$  – дозволене напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі, МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного шву.

Вимоглива товщина стінки обичайки:

$$S_{\text{вимогл.}} = S_{\text{розрах.}} + C = 1,669 + 1 + 1,331 = 4 \text{ мм}$$

де С – збільшення на компенсацію корозії.

Перевіримо умову:

$$\frac{S - C}{D} < 0,1$$

$$\frac{0,004 - 0,001}{1} = 0,003 < 0,1 - \text{ умова виконується.}$$

Дозволений внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 135 \cdot 10^6 (0,004 - 0,001)}{1 + (0,004 - 0,001)} = 0,806 \cdot 10^6$$

Еліптичні днища навантажені внутрішнім тиском розраховують за ДОСТ 14249 – 89.

Розрахункова товщина стінки днищ:

$$S_{\text{розр.}} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P} = \frac{0,45 \cdot 10^6 \cdot 1}{2 \cdot 135 \cdot 10^6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,45 \cdot 10^6} = 1,668 \text{ мм}$$

де Р – розрахунковий внутрішній тиск, МПа;

R – радіус кривизни у вершині днища, мм;

R = D – для еліптичних стандартних днищ;

[σ] – дозволене напруження матеріалу днища при розрахунковій температурі, МПа;

φ – коефіцієнт міцності зварного шву.

Вимоглива товщина стінки днищ:

$$S_{\text{вимогл.}} = S_{\text{розрах.}} + C = 1,668 + 1 + 1,332 = 4 \text{ мм}$$

де С – збільшення на компенсацію корозії.

Дозволений внутрішній надлишковий тиск[16]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot 135 \cdot 10^6 \cdot 1 (0,004 - 0,001)}{1 + 0,5(0,004 - 0,001)} = 0,808 \text{ МПа}$$

## 6 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Перелік допоміжного обладнання, що використовується в процесі виробництва карбаміду стадії випарювання наведено у таблиці 6.1 [5].

Таблиця 6.1 - Перелік допоміжного обладнання технологічної схеми

Позначення апарату	Найменування обладнання	Призначення і коротка характеристика	Матеріал	К-ть
1	2	3	4	5
3	Випарник II-го ступеня випарювання	Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник, призначено для підігріву розчину карбаміду перед сепаратором II-ого ступеня випарювання. Н = 3055 мм; D = 650мм. Площа поверхні теплообміну 175 м <sup>2</sup> . Міжтрубний простір: тиск - 1,1 МПа, температура 200 °С, середовище – пара. Трубний простір: тиск - 0,1 МПа, температура 150 °С, середовище – розчин карбаміду.	Вуглецева сталь	1
4	Сепаратор II-ого ступеня випарювання	Вертикальний циліндричний апарат. Призначено для поділу парогазової і рідкої фаз плаву карбаміду. Тиск: 0,005 кгс/см <sup>2</sup> - 2кгс/см <sup>2</sup> . Температура 150 <sup>0</sup> С. D = 3200 мм; Н = 6920 мм; V = 42 м <sup>3</sup> .	Нержавіюча сталь	1
11	Ежектор I-го ступеня випарювання	Призначено для відсосу парогазової суміші з конденсатора I-го ступеня випарювання. Тиск: 0,4 МПа. Температура 160 <sup>0</sup> С. Середовище рушійне: пара насичена. Витрата: 245 кг/год. Середовище, що перекачується: суміш газів: NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , інерти. Тиск: 2 кПа. Температура: 60 °С. Витрата: 49,5 кг/год.	Нержавіюча та вуглецева сталь	1

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
12	Перший ежектор II-го ступеня випарювання	Горизонтальний кожухотрубний теплообмінник, ізольований. Призначено для відсосу парогазової суміші із сепаратора II-го ступеня випарювання. Тиск: 0,4 МПа. Температура 160°C. Середовище рушійне: пара насичена. Витрата max: 26100 кг/год. Витрата: 6500 кг/год. Середовище, що перекачується: суміш газів: NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , інерти. Тиск: 2 кПа. Температура: 150 °C. Витрата: 33100 кг/год.	Вуглецева сталь	1
13	Другий ежектор II-го ступеня випарювання тип II.06	Призначено для відсосу парогазової суміші з першого конденсатора II-го ступеня випарювання. Тиск: 0,4 МПа. Температура 160°C. Середовище рушійне: пара насичена. Витрата: 3125 кг/год. Середовище, що перекачується: суміш газів: NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , інерти. Тиск: 2 кПа. Температура: 60 °C. Витрата: 1250 кг/год.	Нержавіюча та вуглецева сталь	1
15	Конденсатор I-го ступеня випарювання	Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник, призначено для конденсації парогазової суміші, що надходить із сепаратора I-го ступеня випарювання. D = 1300мм; F= 359м <sup>2</sup> ; H = 7563мм. Міжтрубний простір: тиск - 0,6 МПа, температура 100 °C, середовище – оборотна вода. Трубний простір: тиск - (0 – 0,2) МПа, температура 150 °C, середовище – пара, інерти, NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> .	Нержавіюча та вуглецева сталь	1

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
16	Перший конденсатор II-го ступеня випарювання	Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник, призначений для конденсації парогазової суміші після першого ежектора.. D = 1600 мм; H = 7548 мм. Міжтрубний простір: тиск - 0,6 МПа, температура 100 °С, середовище – оборотна вода. Трубний простір: тиск - (0 – 0,2) МПа, температура 150 °С, середовище – пара, інерти, NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> .	Нержавіюча та вуглецева сталь	1
17	Другий конденсатор II-го ступеня випарювання	Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник, призначений для конденсації парогазової суміші після другого ежектора.. D = 920 мм. H = 7053 мм. Площа поверхні теплообміну: 132 м <sup>2</sup> . Міжтрубний простір: тиск - 0,6 МПа, температура 100 °С, середовище – оборотна вода. Трубний простір: тиск - (0 – 0,2) МПа, температура 150 °С, середовище – пара, інерти, NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> .	Нержавіюча та вуглецева сталь	1
18	Кінцевий конденсатор	Вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник, призначено для конденсації парогазової суміші після ежекторів. D = 574 мм. H = 6016 мм. Площа поверхні теплообміну: 50 м <sup>2</sup> . Міжтрубний простір: тиск - 0,6 МПа, температура 100 °С, середовище – оборотна вода. Трубний простір: тиск - (0 – 0,2) МПа, температура 150 °С, середовище – пара, інерти, NH <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> .	Вуглецева та молібденіста сталь	1

## **7 КОНТРОЛЬ РОБОТИ, НОРМИ І ПРАВИЛА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОСНОВНОГО АПАРАТА**

У хімічній промисловості комплексній механізації і автоматизації надається велика увага. Це пояснюється складністю і високою швидкістю протікання технологічних процесів, а також чутливістю їх до порушення режиму, шкідливістю умов роботи. Виробництво аргону крім того є безперервним і великотоннажним; характеризується наявністю пожеже-, вибухонебезпечних чинників, можливістю викиду хімічно шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Управляти такими процесами, використовуючи застарілі засоби контролю і системи ручного регулювання забезпечуючи при цьому високі техніко-економічні показники (мінімальні витрати сировини, матеріалів та енергоресурсів, максимальний обсяг випуску продукції) і якість продукції, неможливо. Для цього в даному дипломному проекті запропоновано використати АСКТП на базі мікропроцесорного керуючого комплексу (далі КВК) «Уніконт» [18].

«Уніконт» дозволяє вирішувати алгоритмічні завдання, може формувати будь-який закон регулювання, здійснювати оптимальне керування процесом; використовуватися в режимі безпосереднього цифрового керування або в режимі порадики; дозволяє приймати і перетворювати контрольну інформацію, що надходить від датчиків, робити керуючі впливи і здійснювати взаємозв'язок та обмін інформацією з оператором ТОК.

Проектно-компонувальний комплект містить у собі аналого-цифровий перетворювач АЦП, гальванічну розв'язку РГ1, цифро-аналоговий перетворювач ЦАП, блок гальванічної розв'язки РГ2, дискретно-цифровий перетворювач ДЦП і цифро-імпульсний перетворювач ЦІП.

Області введення і виведення інформації призначені для підключення відповідно датчиків і виконавчих механізмів. Входи розраховані на роботу із



сигналами: уніфікований аналоговий 0–10 В, 0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА; і дискретними 0 або 24 В постійного струму.

КВК «Уніконт» дає можливість реалізувати в одному комплекті до 64 аналогових входів, що повною мірою дозволяє здійснювати в даному проекті контроль над всіма 34 входами; до 126 дискретних входів і до 64 імпульсних входів. З КВК передбачена робота датчиків типу Метран-100, а датчики із природним сигналом (термопари), підключаються до КВК через перетворювачі, що нормують.

Аналогові входи КВК «Уніконт» мають гальванічну розв'язку.

Сигнали, які надходять на вхід, за допомогою АЦП перетворюються в цифровий код, а потім обробляються програмно в алгоблоках. Вихідні сигнали алгоблоків за допомогою ДЦП перетворюються на аналогову, імпульсну або дискретну форму і надходять на вихід КВК через гальванічну розв'язку.

«Уніконт» є гарним засобом керування процесом, оскільки він дозволяє переглядати, змінювати і конфігурувати процес у ході роботи. Так само сприяє скороченню строків випуску продукції, відточити технологічний процес для зниження відходів.

## **7.1 Контроль параметрів технологічного процесу**

Для керування технологічним процесом випарювання карбаміду оператор технолог повинен мати можливість у будь-який момент часу одержати повну інформацію про хід процесу. Для цього в даному дипломному проекті запропоновано безупинно вимірювати і виводити в ЦПК та на КВК значення наступних технологічних параметрів:

Температура:

- Плав карбаміду у випарник I-го ступеня випарювання поз.1 TIR 1-1,
- Плав карбаміду після сепаратору I-го ступеня поз.2 TIR 14-1,
- Плав карбаміду після сепаратору II-го ступеня поз. 4 TIR 15-1,

Рівень:

- У збірнику амвони поз.6 LIR 11-1,
- У збірнику плаву карбаміду поз.7 LIR13-1,

Тиск:

- У сепараторі I-го ступеня випарювання поз.2 PIR 4-1,
- Пара у випарник I-го ступеня випарювання поз.1 PIR 5-1,
- У сепараторі II-го ступеня випарювання поз.4 PIR 7-1,
- Пара у випарник II-го ступеня випарювання поз.3 PIR 8-1,

Витрата:

- Аміачна вода на зрошення конденсатора поз.18 FIR 10-1,
- Плав карбаміду на грануляцію FIR 12-1,
- Аміачна вода FIR 16-1,

Концентрація:

- Аміаку в плаву карбаміду на грануляцію QIR 17-1,

Для виміру витрати у всіх випадках використовується метод змінного перепаду тиску. У трубопроводі, по якому транспортується потік, витрату якого необхідно виміряти, встановлюється звужуючий пристрій (діафрагма типу ДКЗ) на ньому при протіканні потоку створюється перепад тиску, що вимірюється датчиком різниці тиску «Метран-100 ДД». Вихідним сигналом даного датчика є уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА.

Для виміру температури використовується термоелектричний перетворювач ТХК-2088. В основі роботи даного приладу покладений термоелектричний ефект. Якщо крапку спаю двох різнорідних провідників помістити в апарат, у якому необхідно виміряти температуру, то на вільних кінцях термопари з'явиться термо-ЕРС, що буде прямо пропорційна вимірювальній температурі. По величині термо-ЕРС і визначають температуру.

Для виміру рівня використаємо буйковий перетворювач «Сапфір-22ДУ». Чутливим елементом є буй, що виготовляється з нержавіючої сталі, і міститься безпосередньо в апараті. В основу роботи приладу закладений закон

Архімеда. При вимірі рівня в апараті, змінюється висота занурення буйка в робочу рідину. При цьому змінюється сила, що виштовхує буй, а в наслідок змінюється вага буя. Вимірювальна схема приладу перетворить зміну ваги буя в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА.

Для виміру тиску використовують датчик надлишкового тиску «Метран-100ДІ». В основу роботи даного приладу покладений тензометричний ефект.

Для живлення датчиків і забезпечення їх іскробезпеки, використовують бар'єр іскробезпеки МТМ-501-03, який сигнал 4-20 мА передає на контролер.

Для температури використовуємо перетворювач МТМ-402, який перетворює сигнал у вольтах в 4-20 мА.

## **7.2 Регулювання параметрів технологічного процесу**

Для того, щоб вести процес випарювання карбаміду в умовах, близьких до оптимальних, у даному проекті запропоновані наступні системи автоматичного регулювання.

Витрата плаву карбаміду на випарювання стабілізується автоматично за допомогою обноконтурної АСР витрати. Регулювальний клапан поз. FCV 2-5 розташовані на лінії подачі плаву карбаміду.

Температура в сепараторі I-го ступеня регулюється за допомогою обноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. ТС 3-4 розташований на лінії подачі пари у випарник I-го ступеня.

Температура в сепараторі II-го ступеня регулюється за допомогою обноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. ТС 6-4 розташований на лінії подачі пари у випарник II-го ступеня.

Рівень у сепараторі II-го ступеня регулюється за допомогою обноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. LCV 9-4 розташований на лінії виходу плаву карбаміду із сепаратора II-го ступеня.

У даному дипломному проекті обрані регулювальні клапани укомплектовані електропневмопозиціонером (ЕПП). Вхідний сигнал ЕПП 4-20 мА, що дозволяє зі схеми регулювання виключити пневмоперетворювач. Для забезпечення вибухозахисту після контролера в схему регулювання ставимо бар'єр МТМ 501-04.

### **7.3 Сигналізація і блокування процесу**

Для оповіщення оперативного персоналу про відхилення технологічного процесу від норми в даному проекті запропонована схема автоматичної сигналізації, що спрацьовує в наступних випадках:

- Мах і мін температура в сепараторі першого ступеня випарювання;
- Мах і мін температура в сепараторі другого ступеня випарювання;
- Мах і мін тиск у сепараторі першого ступеня випарювання;
- Мах і мін тиск пари у випарник першого ступеня випарювання;
- Мах і мін тиск у сепараторі другого ступеня випарювання;
- Мах і мін пари у випарник другого ступеня випарювання;
- Мах і мін рівень у сепараторі другого ступеня випарювання;
- Мах і мін рівень у збірнику аміачної води;
- Мах і мін рівень у збірнику карбаміду;

Прилади засобу автоматизації, використовувані в даному проекті наведені в таблиці 7.1

Таблиця 7.1 - Відомість приладів і технічних засобів автоматизації

№ поз. за схемою	Вимірюваний параметр	Назва і тип приладу	Технічні характеристики
1	2	3	4
1-1	Температура плаву карбаміду у випарнику першого ступеня випарювання поз.1	Термопара ТХК-2088	Діапазон +50 - +600°C
1-2	Те ж	Перетворювач вимірювальний багатограничний МТМ-402, вихідний сигнал 4-20	Шкала 0 - 200 °С Клас точності 0,25
2-1	Витрата плаву карбаміду на випарювання	Діафрагма камерна ДКЗ – 0,5	КТ 1.0
2-2	Те ж	Датчик різниці тиску Метран-100ДД-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний перепад тиску 4 мПа КТ 0,25
2-3		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
2-4		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-04, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
2-5		Виконавчий механізм. «Русг» тип РК-210	Тип НЗ
3-1	Температура в сепараторі першого ступеня випарювання поз.2	Термопара ТХК-2088	Діапазон +50 - +600°C
3-2	Те ж	Перетворювач вимірювальний багатограничний МТМ-402, вихідний сигнал 4-20	Шкала 0 - 200 °С Клас точності 0,25
3-3		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-04, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
3-4		Виконавчий механізм «Русг» тип РК-210	Тип 113
4-1	Тиск у сепараторі першого ступеня випарювання поз.2	Датчик надвишкового тиску Метран-100ДІ-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний надвишковиий тиск 1 мПа КТ 0.25

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4
4-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
5-1	Тиск пари у випарнику першого ступеня поз. 1	Датчик надвишкового тиску Метран-100Ди-ех, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний надлишковий тиск 1 мПа КТ 0,25
5-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 ма, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
6-1	Температура в сепараторі другого ступеня поз.4	Термопара ТХК-2088	Діапазон +50 + 600 °С
6-2	Те ж	Перетворювач вимірювальний багатограничний МТМ-402, вихідний сигнал 4-20	Шкала 0 - 200 °С Клас точності 0,25
7-1	Тиск у сепараторі другого ступеня випарювання поз.4	Датчик надлишкового тиску Метран-ІООДІ-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний надлишковий тиск 0,5 мПа КТ 0,25
7-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
8-1	Тиск пари у випарнику другого ступеня поз.3	Датчик надвишкового тиску Метран-ІООДІ-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний надлишковий тиск 2 мПа КТ 0,25
8-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 ма, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
9-1	Рівень у сепараторі другого ступеня випарювання поз.4	Перетворювач вимірювальний буйковий Сапфір 22-ДУ-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Довжина буя 600мм КТ 0,25
9-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
9-3		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-04, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4
9-4	Рівень у сепараторі другого ступеня випарювання поз.4	Виконавчий механізм «Руст» тип РК-210	Тип НЗ
10-1	Витрата амводи на зрошення конденсатора поз. 18	Діафрагма камерна ДКС-0,5	КТ 1,0
10-2	Те ж	Датчик різниці тиску Метран-1ООДД-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний перепад тиску 4 мПа КТ 0,25
10-3		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
11-1	Рівень у збірнику амводи поз.6	Перетворювач вимірювальний буйковий Сапфір 22-ДУ-Єх, вихідний	Довжина буя 200мм КТ 0,25
11-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
12-1	Витрата плаву карбаміду на	Діафрагма камерна ДКЗ-0,5	КТ 1,0
12-2	Те ж	Датчик різниці тиску Метран-1ООДД-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний перепад тиску 4 мПа КТ 0,25
12-3		Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4-20 мА	Клас точності 0,2
13-1	Рівень у збірнику карбаміду поз.7	Перетворювач вимірювальний буйковий - Сапфір 22-ДУ-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Довжина буя 200мм КТ 0,25
13-2	Те ж	Бар'єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4- 20 мА	Клас точності 0,2
14-1	Температура плаву карбаміду після сепаратора першого ступеня поз.2	Термопара ТХК-2088	Діапазон +50 -+ 600 °С
14-2	Те ж	Перетворювач вимірювальний багатограничний МТМ-402, вихідний сигнал 4-20	Шкала 0 - 200 °С Клас точності 0,25
15-1	Температура плаву карбаміду після сепаратора другого ступеня поз.4	Термопара ТХК-2088	Діапазон +50 - +600 °С

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4
15-2	Те ж	Перетворювач вимірювальний багато граничний МТМ-402, вихідний сигнал 4-20 мА	Шкала 0-200 °С Клас точності 0,25
16-1	Витрата аміачної води	Діафрагма камерна ДКЗ-0,5	КТ 1,0
16-2	Те ж	Датчик різниці тиску Метран-100ДД-Єх, вихідний сигнал 4-20 мА	Граничний перепад тиску 2 мПа КТ 0,25
16-3		Бар`єр іскробезпеки МТМ501-03, вхідний сигнал 4-20 мА, вихідний сигнал 4-20 мА	Клас точності 0,2
17-1	Концентрація аміаку в плаві карбаміду на грануляцію	Uras 14. «ABB»	Діапазон 0-100 %



## 8 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Екологія - це наука про взаємини живих істот між собою і з оточуючою їм неорганічною природою, про зв'язки в надорганізмених системах, про структуру і функціонування цих систем. Об'єктами екології можуть бути популяції організмів, види, співтовариства, екосистеми і біосфера в цілому.

З середини 20 століття у зв'язку з впливом людини на природу екологія придбала особливе значення як наукова основа раціонального природокористування і охорони живих організмів, а сам термін "екологія" - більш широкий зміст.

Сучасна екологія - це наука, що швидко розвивається, вона характеризується своїм колом проблем, своєю теорією і своєю методологією [19].

Під навколишнім середовищем [20] розуміється сукупність "чистої" природи і середовища, створеного людиною, - розорані поля, штучні сади і парки, обводнені пустелі, осушені болота, великі міста з особливим тепловим режимом, мікрокліматом, водопостачанням, великим оборотом різних органічних і неорганічних речовин. Науково-технічний прогрес і пов'язані з ним грандіозні масштаби виробничої діяльності людини привели до великих позитивних перетворень у світі - створенню могутнього промислового і сільськогосподарського потенціалу, широкому розвитку усіх видів транспорту, іригації і меліорації великих земельних площ, створенню систем штучного клімату.

Разом з тим різко погіршився стан навколишнього середовища. Забруднення атмосфери, водойм і ґрунту твердими, рідкими і газоподібними відходами досягає загрозливих розмірів, відбувається виснаження невідновлюваних природних ресурсів - у першу чергу корисних копалин і прісної води.

Подальше погіршення стану екосфери може привести до негативних наслідків для людства. Тому охорона природи, захист її від забруднень стала однією з найважливіших глобальних проблем.

У промисловості прийняті серйозні заходи по удосконаленню виробництва і рекуперації відходів, по створенню процесів на основі маловідходної і безвідходної технологій. У загальному вигляді ці заходи спрямовані на створення наступних схем і режимів виробництва:

1) комплексних схем, що дозволяють максимально використовувати всі інгредієнти сировини і забезпечують дотримання ГДК шкідливих речовин у потоках, що відходять;

2) схем з повним кругообігом води, які дозволяють різко скоротити потреби підприємств у свіжій воді;

3) енерго-технологічних схем з утилізацією тепла реакцій, внаслідок чого деякі виробництва, наприклад, аміаку, перетворюються з енергоспоживаючих в енерговиробничні;

4) технологічних режимів, що забезпечують випуск продукції високої якості, яку можна використовувати більш ефективно і більш тривалий термін.

### **8.1 Відходи виробництва карбаміду**

Викиди в атмосферу - постійні. Води, що скидаються відводяться в цех НОПС разом зі стічною водою десорбції. Тверді відходи відвантажуються споживачеві.

У табл. 8.1 та 8.2 наведено дані по викидах у проектованому виробництві [5].

Таблиця 8.1 - Викиди в атмосферу у виробництві карбаміду

Найменування джерела викиду	Тривалість роботи год./рік	Кіл. шт	Параметри джерела викиду		Найменування речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Концентрація мг/м <sup>3</sup>		Обсяг викиду, м <sup>3</sup> /год
			Висота, м	Діаметр, м			max	середня	
Свіча скрубєру	8000	1	25	0,3	Аміак	162	162	152	42,16
Очисний пристрій грапбашти	8000	1	80	5,43	Аміак	37,7	37,7	35,8	379080
Промивна колона	8000	1	25	0,8	Пил карбаміду	115,3	115,3	111	8892
Мокрий циклон	8000	1	42	0,6	Пил карбаміду	117,8	117,8	109	5508

Таблиця 8.2 - Характеристика викидів і відходів

Найменування апарату, викиду	Характеристика викиду		Допустима кількість шкідливої речовини
	Температура	Склад	
Атмосферний викид від збірника карбаміду	85-98 °С	NH <sub>3</sub> - 9 %, H <sub>2</sub> O - 3,5 %, інерти - 69,3 %, O <sub>2</sub> - 18,2 %	Аміак - 2,6 кт/год.
Атмосферний викид від збірника аміачної води	Н/б 50 °С	NH <sub>3</sub> - 4 %, H <sub>2</sub> O - 1 %, інерти - 75,5 %, O <sub>2</sub> - 19,45 6%	Аміак - 1 кг/год.
Конденсат (зкидні води) від змиву аварійних проток		Азот амонійний – н/б 65 мг/дм <sup>3</sup> Карбамід – н/б 300 мг/дм <sup>3</sup> .	Н/б 37 м <sup>3</sup> /год.
Тверді відходи карбаміду		ТУ 6-03-477-82	5010/1650 кг/добу

## 8.2 Вплив забруднювачів базового об'єкту на атмосферу, літосферу, гідросферу, рослинний і тваринний світ, людину

### *Вплив на шкіру*

При концентрації аміаку 1% (об.) спостерігається легке подразнення вологої шкіри, при концентрації 2% - помітне подразнення, а при 3% - через кілька хвилин може бути викликаний

опік з утворенням міхурів. При влученні в струмінь газу поряд із проявами загального отруєння спостерігається почервоніння шкіри, набряк, окремі фіолетово-червоні плями, порушення цілісності поверхневих шарів шкіри.

Нашатирний спирт (10%-вий розчин аміаку) діє на шкіру слабкіше інших лугів і викликає сильний біль, почервоніння, а при тривалому впливі - утворення на шкірі міхурів. Потрапляння спирту в очі може привести до повної сліпоти.

Карбамід викликає подразнення шкіри, а також може викликати термічні опіки.

У людей, що перебувають у засобах захисту, в атмосфері з високим вмістом двоокису вуглецю, спостерігається почервоніння шкіри, почуття поколювання, пощипування та виділення поту. При роботі з рідким і твердим двоокисом вуглецю можливі обмороження [20, 21].

#### *Вплив на тваринний світ*

На організм тварин шкідливі викиди впливають подразнюючи, навіть смертельно.

Тваринний світ не менше страждає від шкідливих концентрацій аміаку. Коли тварини попадають під вплив аміаку, то одержують сильне подразнення верхніх дихальних шляхів, кон'юнктивіти, з рота та носа у них виділяється піниста рідина, іноді з домішкою крові. Може бути крововилив у всіх органах, неврози, клітинна інфільтрація. При більших концентраціях виявляється припікальна дія на слизових оболонках дихальних шляхів і рота, можливий набряк легенів. Гранична концентрація 0,01 мг/л [20, 21].

#### *Вплив на ґрунт і на рослинний світ*

Забруднення, що надходять в атмосферу, з опадами повертаються на землю, попадають у водойми і ґрунт. Стічними

водами підприємства та агропромисловий комплекс забруднюють ріки, озера, моря. Величезна кількість відходів потрапляє в ґрунт, самоочищення якого практично не відбувається або відбувається дуже повільно. Токсичні речовини накопичуються, що призводить до постійної зміни хімічного складу ґрунтів, порушенню єдності геохімічного середовища та живих організмів.

Відбувається закислення ґрунтів, спустошення та загибель лісів, змінюється видовий склад флори і фауни в багатьох водоймах, забруднюються не тільки малі ріки, але і великі водойми; відчувається недостача прісної води; атмосфера багатьох міст насичена органічними та неорганічними речовинами, концентрація яких вище ГДК; зникають багато видів тварин і рослин, виникають нові хвороби, з відходами губиться величезне число цінних речовин [20, 21].

Таким чином, викиди в біосферу призводять до погіршення екологічного стану в нашому регіоні.

### **8.3 Заходи щодо охорони навколишнього середовища**

Основним напрямком, що забезпечує чистоту навколишнього середовища, є організація технологічних процесів, які виключають викиди в атмосферу відпрацьованих газів, пари, пилу. Для цього в цеху карбаміду передбачають:

- герметизацію обладнання;
- очисний пристрій на грануляційній вежі для зменшення викидів аміаку та пилу карбаміду;
- установку газоаналізаторів;
- установку контрольних клапанів, які скидають гази або пару в закриту систему через сепаратор з наступною утилізацією.

### *Очищення водою від стічних вод*

Для переробки та очищення аміачної води, що утворилася на різних стадіях і вузлах одержання карбаміду, передбачаються вузли десорбції та гідролізу. У цих вузлах у результаті гідролізу карбаміду, що міститься в аміачній воді, і десорбції  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$  з водного розчину, відбувається очищення стічної води перед відкачкою її в цех НОПС і повернення  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ , що не прореагували у вигляді розчину вуглеамонійних солей у процес. Масова концентрація в стічній воді карбаміду — не більше  $300 \text{ мг/дм}^3$ , азоту амонійного - не більше  $65 \text{ мг/дм}^3$ .

### *Методи боротьби з пилом*

Для боротьби з пилом на виробництві виконується:

- герметизація устаткування;
- водяне зрошення;
- вологе прибирання;
- витяжна вентиляція;
- використання мокрих пиловловлювачів.

Для захисту органів подиху від  $\text{NH}_3$  на запиленому робочому місці, при відборі аналізу плаву карбаміду обслуговуючий персонал застосовує:

- фільтруючий протигаз із коробкою марки «КД»;
- респіратор типу «Пелюсток».

Для захисту очей використовують окуляри типу ЗНД.

## **8.4 Розрахунок ГДВ**

Максимальну приземну концентрацію забруднюючої речовини розраховують за формулою [18]:

$$C_M = \frac{A * \Gamma_{ДВ} * F * m * n * \eta}{H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}}; \quad (8.1)$$

де  $A = 160$  – коефіцієнт, що залежить від температури стратифікації атмосфери на території України;

$F = 1$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі; для газоподібних шкідливих речовин і дрібнозернистих аерозолів (пилу та золи, швидкість упорядкованого осідання яких практично дорівнює нулю);

$m$  і  $n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду;

$\eta = 1$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку рівної та слабо пересіченої місцевості з перепадом висот, які не перевищують 50 м на 1 км;

$H = 25$  м – висота джерела викиду над рівнем землі;

$V_1 = 42,16$  м<sup>3</sup>/год – витрата газоповітряної суміші;

$\Delta T = 80 - 20 = 60$  °С – різниця між температурою газоповітряної суміші, що викидається та температурою навколишнього атмосферного повітря;

Середня швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду:

$$W_0 = \frac{V_1}{0.785 * D^2}; \quad (8.2)$$

де  $D = 0,3$  м - діаметр устя джерела викиду;

$$W_0 = \frac{42,16/3600}{0.785 * 0,3^2} = 0,17 \text{ м/с}$$

Для розрахунку коефіцієнтів  $m$  і  $n$  попередньо розрахуємо допоміжні параметри:

$$f = \frac{w_0^2 * D}{H^2 * \Delta T} * 1000; \quad (8.3)$$

$$f = \frac{0.17^2 * 0.3}{25^2 * 60} * 1000 = 0,0002$$

$$U_m = 0,65 * \sqrt[3]{\frac{V_1 * \Delta T}{H}}; \quad (8.4)$$

$$U_m = 0,65 * \sqrt[3]{\frac{0.012 * 60}{25}} = 0,2$$

$$m = \frac{1}{0,65 + 0,1 * \sqrt{f} + 0,34 * \sqrt[3]{f}} \quad \text{при } f < 100 \quad (8.5)$$

$$m = \frac{1}{0,65 + 0,1 * \sqrt{0,0002} + 0,34 * \sqrt[3]{0,0002}} = 1,49$$

n при  $f < 100$  визначається залежно від  $U_m$  : при  $U_m < 2$

$$n = 4,4 * U_m \quad (8.6)$$

$$n = 4,4 * 0,2 = 0,88$$

Маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу:

$$\text{ГДВ} = \frac{\text{ГДК} * H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}}{A * F * m * n}; \quad (8.7)$$

де ГДК = 20 мг/м<sup>3</sup> (для аміаку) – гранично допустима концентрація забруднюючих речовин у повітрі робочої зони.

$$\text{ГДВ} = \frac{20 * 25^2 * \sqrt[3]{0,012 * 60}}{160 * 1 * 1,49 * 0,88} = 53,4 \frac{\text{мг}}{\text{м}} = 0,0534 \text{ г/с}$$



$$C_M = \frac{160 * 0,0534 * 1000 * 1,49 * 1 * 0,88}{25^2 * \sqrt[3]{0,012 * 60}} = 19,9 \text{ мг/м}^3$$

Отже, дана максимальна приземна концентрація забруднюючої речовини менше ГДК аміаку в повітрі робочої зони і при щоденному впливі на людину протягом тривалого часу не викличе в його організмі будь-яких патологічних змін і захворювань.

## 9 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 9.1 Основні фізико - хімічні властивості та токсичність речовин

У виробництві карбаміду використовують та отримують речовини, які мають токсичні властивості, основні фізико-хімічні властивості яких наведено в таблиці 9.1, показники вибухо- і пожежебезпеки - в таблиці 9.2, характеристика токсичності - в таблиці 9.3 [5].

Таблиця 9.1 - Основні фізико-хімічні властивості речовин

№ п/п	Назва сполуки Систематична номенклатура	Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан за н.у.	Температура кипіння	Температура плавлення
1.	Аміак	NH <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} - \text{N} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	газ	-78	-37,6
2.	Вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	O=C=O	газ	-78	-57
3.	Карбамід	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \text{O} = \text{C} \\ \text{NH}_2 \end{array}$	тверда речовина	133	-

Таблиця 9.2 - Показники вибухо- і пожеже небезпечності

№ п/п	Сполука	Температура спалаху, °C	Температура самозапалення, °C	Межі розповсюдження полум'я концентраційні				Температурні межі спалахування, °C	
				г/м <sup>3</sup>		% об.		нижній	верхній
				нижній	верхній	нижній	верхній		
1	Аміак	-	650	-	-	15	28	-	-
2	Карбамід	182	640	-	-	-	-	-	-

Таблиця 9.3 - Характеристика токсичності

№ п/п	Сполука	Клас шкідливості	Характер дії на організм людини	Гранично припустима концентрація в повітрі, мг/м <sup>3</sup>			Засоби індивідуального захисту
				Робоча зона	Населений пункт		
					Максимальна разова	Середньодобова	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	NH <sub>3</sub>	4	Викликає гостре подразнення слизових оболонок, слезотечу, опіки слизових оболонок; рідкий аміак обпікає шкіру.	20	0,2	0,04	Фільтруючий протигаз марки «КД» або «М»
2	CO <sub>2</sub>	-	Не токсичний. Викликає наркотичну та удушливу дію, у великих концентраціях угнітає дихальний центр	-	-	-	Ізолюючий протигаз марок ПШ-1 або ПШ-2
3	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	3	Не токсичний. Викликає роздратування шкіри.	10	0,5	0,5	Рукавиці комбіновані, костюми протищелочекислотні КЩК

## 9.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві, що проектується

На виробництві карбаміду, що проектується, існує ряд прихованих небезпек:

1. Робота устаткування під високим тиском і при високих температурах (T = 180 – 200°C; P = 13,8 – 14,2МПа);
2. Присутність ємкісного устаткування, в якому можливо виникнення вибухонебезпечних газових сумішей: рух аміаку та діоксиду вуглецю по трубопроводам;
3. Присутність токсичних і вибухопожежебезпечних речовин, наприклад виникнення вибухонебезпечних сумішей аміаку з повітрям;
4. Присутність механізмів, що обертаються;

5. Використання електроенергії потужністю 380 і 220 В;
6. Використання пари високого тиску.

У зв'язку з цим можливі: розриви комунікацій та устаткування, що працює під тиском; корозія трубопроводів та апаратів; вибухи та загоряння газових сумішей; термічні та хімічні опіки; отруєння шкідливими та токсичними речовинами; механічні травми внаслідок необережного використання насосів з частинами, що обертаються; ураження електричним струмом при несправному стані електросилового і освітлювального устаткування.

У виробництві карбаміду існують такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, як виробничий пил, шум та вібрація.

Виробничий пил – це тонко дисперсні часточки, які виникають при різних виробничих процесах. Пил виникає при горінні палива та інших різних хімічних процесах. При оцінюванні токсичного впливу пилу необхідно приймати до уваги такі фактори, як дисперсність, форма частинок, розчинність, хімічний склад. Найбільшу небезпеку представляє пил з розміром частинок до 5 мкм, частинки такого розміру затримуються в легенях і частково або повністю розчиняються в лімфі. Неотруйний пил при значних концентраціях наносить шкідливий вплив на організм людини. Він засоряє слизові оболонки очей, шкіру та викликає різні захворювання легенів [21].

Зріст рівня шуму та вібрації на робочих місцях викликає шкідливий вплив на організм людини.

Шкідлива дія шуму відображається на органах слуху. Тривалий вплив шуму на органи слуху людини без їхнього захисту можуть привести до професійної приглухуватості. Приглухуватість приводить до прогресуючого зниження слуху, аж до його повної втрати.

Вібрація діє на центральну нервову систему, шлунково-кишковий тракт, органи рівноваги, викликає головокружіння, захворювання суглобів.

### 9.3 Класифікація і категорійність виробництва і його приміщень, що проектуються

Виробництво карбаміду, що проектується, за категорією вибухо – та пожежебезпеки відноситься до приміщень с категоріями Б і В.

Класифікація і категорія виробництва карбаміду, що проектується, згідно з установленими нормами і правилами, наведені в таблиці 9.4. Клас за санітарною характеристикою – 2, ширина санітарної зони – 500 м.

Таблиця 9.4 - Класифікація і категорія вибухо – та пожеже небезпечності відділень виробництва карбаміду [5]

Найменування відділення	Категорія вибухонебезпечності	За ступенем ураження електричним струмом ПУЕ-85	Класифікація приміщень і зовнішніх установок по електроустаткуванню (ПУЕ-86)		Група виробничого процесу за санітарною характеристикою відповідно СН-245-71
			Клас приміщення	Категорія і група	
1	2	3	4	5	6
Відділення аміачних насосів	Б	3 високою безпекою	В-1г	2А-Т1	Шб
Відділення синтезу	Б	3 високою безпекою	В-1г	2А-Т1	Шб
Відділення дистиляції	Б	3 високою безпекою	В-1г	2А-Т1	Шб
Відділення компресії вуглекислоти	Д	3 високою безпекою	В-1б	Не катег.	Іа
Відділення грануляції	В	3 високою безпекою	Г-2а	Не катег.	Іг

Метеорологічні умови виробничого середовища залежить від фізичного стану навколишнього середовища й характеризуються наступними основними метеорологічними елементами: температурою, вологістю й швидкістю руху повітря, а так само тепловим випромінюванням від нагрівальних поверхонь устаткування.

Метеорологічні умови виробничого приміщення - температура, вологість повітря й швидкість руху повітря, визначають теплообмін організму людини й впливають на самопочуття, працездатність і здоров'я обслуговуючого персоналу і встановлюються на підставі категорії робіт.

Роботи, які виконуються на ділянці за енерговитратами організму відносяться до категорії середньої важкості. Відповідно з ДСТУ 12.1.005-88 вибираємо оптимальні параметри мікроклімату й зводимо їх в таблицю 9.5.

Таблиця 9.5 – Припустимі й оптимальні значення параметрів метеорологічних умов

Категорія робіт за важкістю	Період року	Температура		Відносна вологість		Швидкість руху повітря в приміщенні	
		Оптимальна	Припустима	Оптимальна	Припустима	Оптимальна	Припустима
Середньої важкості	Холодний	18-20	17-23	40-60	75 при 26 <sup>0</sup> С	0,2	0,3
Середньої важкості	Теплий	20-23	19-25	40-60	75 при 26 <sup>0</sup> С	0,2	0,2

#### 9.4 Заходи пожежної безпеки

Для запобігання можливого виникнення вибухів, пожеж необхідно дотримувати наступні умови [18]:

- 1) не допускати застосування відкритого вогню та проведення газоелектрозварювань робіт без оформлення дозволу на вогняні роботи та підготовку робочого місця;
- 2) стежити, щоб пальні та мастильні матеріали зберігалися тільки в спеціально відведеному для цього місці;
- 3) не дозволяти зберігання балонів зі стислими газами на робочому місці;
- 4) вчасно проводити планово-попереджувальний ремонт устаткування, що працює під тиском;

5) щоб уникнути гідравлічних ударів відкривати запорну арматуру повільно та плавно;

6) обігрів замерзлих і закристалізованих трубопроводів робити парою або гарячою водою;

7) всі апарати повинні бути оснащені необхідними контрольно-вимірювальними приладами, запобіжними клапанами, оглядовим склом, ліхтарями;

8) не допускати скидання пожеженобезпечних продуктів у мережі каналізації.

При виникненні пожежі на робочому місці негайно повідомити майстрові зміни та у пожежну частину. До прибуття пожежної служби приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежегасіння.

Для забезпечення швидкого припинення пожежі приймаються наступні міри [18]:

- централізоване розгалуження господарсько-протипожежного водопроводу;
- вогнегасники вуглекислотні ОУ-2, ОУ-5, ОУ-25;
- вогнегасники порошкові ОП-10, ОП-10Ф.

При виникненні пожежі необхідно відключити подачу сировини у місце пожежі. На кожному робочому місці знаходиться ящик з піском, совком та азбестовим полотном.

Приміщення ЕОМ, ЦПУ і кабельні тунелі забезпечені автоматичними установками пожежегасіння. Агрегати обладнані первинними засобами пожежегасіння: для виробничих будівель (споруд категорії А і Б) на кожні 400-500 м<sup>2</sup> встановлені два вуглекислотних вогнегасники і чотири пінних, ящик з піском, повсть. Додатково на кожні 1000-1500 м<sup>2</sup> у апаратів з ЛВЖ встановлено один стаціонарний ОВПУ-250.

## ВИСНОВОК

У даному дипломному проєкті розроблена стадія випарювання у виробництві карбаміду потужністю 330 тис. т/рік.

У проєкті висвітлені питання сучасного стану процесу випарки карбаміду та переваги обраного методу, характеристика сировини, напівпродуктів, що використовуються у виробництві готової продукції. Розроблено технологічну схему стадії випарювання у виробництві карбаміду із зазначенням основних параметрів контролю і регулювання процесом. Виконані розрахунки матеріального і теплового балансів. Проведено розрахунок основного апарату та вибір основних конструкційних матеріалів, механічний розрахунок на міцність.

За допомогою програми AutoCAD було виконано технологічну схему та креслення загального виду основного апарату.

Приділено увагу питанням екології та охорони навколишнього середовища: розглянуто заходи попередження забруднення атмосфери, методи захисту водойм від промислових стоків, розраховано граничнодопустимий викид забруднюючих речовин в атмосферу.

Розглянуто заходи з охорони праці на виробництві, що проектується.



## **АНОТАЦІЯ**

Мета роботи - розробка стадія випарювання у виробництві карбаміду потужністю 330 тис. т/рік.

У проєкті висвітлені питання сучасного стану процесу випарки карбаміду та переваги обраного методу, характеристика сировини, напівпродуктів, що використовуються у виробництві готової продукції. Розроблено технологічну схему стадії випарювання у виробництві карбаміду із зазначенням основних параметрів контролю і регулювання процесом. Виконані розрахунки матеріального і теплового балансів. Проведено розрахунок основного апарату та вибір основних конструкційних матеріалів, механічний розрахунок на міцність.

За допомогою програми AutoCAD було виконано технологічну схему та креслення загального виду основного апарату.

Приділено увагу питанням екології та охорони навколишнього середовища: розглянуто заходи попередження забруднення атмосфери, методи захисту водойм від промислових стоків, розраховано граничнодопустимий викид забруднюючих речовин в атмосферу.

Розглянуто заходи з охорони праці на виробництві, що проєктується.

## **АННОТАЦИЯ**

Цель работы - разработка стадия выпаривания в производстве карбамида мощностью 330 тыс. т/год.

В проекте освещены вопросы современного состояния процесса производства карбамида и преимущества выбранного метода, характеристика сырья, полупродуктов, используемых в производстве готовой продукции. Разработана технологическая схема стадии выпаривания в производстве карбамида с указанием основных параметров контроля и регулирования процессом. Выполнены расчеты материального и теплового балансов.

Проведен расчет основного аппарата и выбор основных конструкционных материалов, механический расчет на прочность.

С помощью программы AutoCAD были выполнены технологическая схема и чертеж общего вида основного аппарата.

Уделено внимание вопросам экологии и охраны окружающей среды: рассмотрены меры предупреждения загрязнения атмосферы, методы защиты водоемов от промышленных стоков, рассчитан предельно допустимый выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

Рассмотрены мероприятия по охране труда на производстве, которое проектируется.

## **ABSTRACT**

The purpose of the work is to develop a stage of evaporation in the production of carbamide with a capacity of 330 thousand tons/year.

The project highlights the current state of the urea production process and the advantages of the chosen method, the characteristics of raw materials, intermediates used in the production of finished products. A technological scheme of the evaporation stage in the production of urea has been developed, indicating the main parameters of control and regulation of the process. Calculations of material and heat balances have been performed. The calculation of the main apparatus and the selection of the main structural materials, mechanical strength calculation were carried out.

With the help of the AutoCAD program, the technological scheme and the drawing of the general view of the main apparatus were made.

Attention is paid to the issues of ecology and environmental protection: measures to prevent atmospheric pollution, methods of protecting water bodies from industrial effluents are considered, the maximum permissible emission of pollutants into the atmosphere is calculated.

The measures for labor protection in the production, which is being designed, are considered.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие: в 2 т. / под ред. Т. Г. Ахметова. – М.: Высш. школа, 2002. – Т. 1, 2.
2. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива : навчальний посібник / М. Д. Волошин, Я. М. Черненко, А. В. Іванченко, М. А. Олійник. - Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. – 354 с.
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Технологія зв'язаного азоту: підручник / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. Я. ЛОБОЙКО, Г. І. ГРИНЬ, І. О. СЛАБУН та ін. - Харків : НТУ «ХП», 2007. - 536 с.
4. Горловский Д.М. Технология карбамида / Д.М. Горловский, Л.Н. Альтшулер, В.И. Кучерявый. — Л.: Химия, 1981. — 320 с.
5. Постоянный технологический регламент цеха по производству карбамида мощностью 330 тыс. т/год. ЗАО СПО «Азот», 2007. — 582 с.
6. Позин М.Е. Физико-химические основы неорганической технологии: Учеб. пособие для вузов./ Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. – Л.: Химия, 1985. – 384 с.
7. Атрощенко В.И. Технология связанного азота / В.И. Атрощенко. – Киев: Вища шк., 1985. – 328с.
8. Справочник азотчика. – 2-е изд. перераб. – М.: Химия, 1987. – 484 с.
9. Лобойко О. Я. Методи розрахунків у технології неорганічних виробництв / О. Я. Лобойко, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ. - Харків : НТУ «ХП», 2001. - 512 с.
10. Яворський В. Т. Загальна хімічна технологія / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. - Львів : НУ «Львівська політехніка», 2014. - 540 с.
11. Краткий справочник физико-химических величин/ Под ред. Равделя А.А. 8-е изд.-Л.: Химия, 1983. – 232 с.
12. Тетеревков А.И. Оборудование заводов неорганических веществ. / Тетеревков А.И., Печковский В.В – Минск: Высш. шк., 1981. – 335 с.

13. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1970. — 752 с.
14. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии/ Ю.И. Дытнерский. Пособие по проектированию. - М.: Химия, 1991. — 496 с.
15. Мухленова И.П. Расчеты химико-технологических процессов / И.П. Мухленова – Л.: Химия, 1982. – 248 с.
16. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений./ 5-е изд. Перераб. – Л.: Химия, 1983. – 335с.
17. Волошин М.Д., Шестозуб А.Б., Гуляев В.М. Устаткування галузі і основи проектування. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2004. – 371с.
18. Романычев Э.Т. AutoCAD 14 / Э.Т. Романычев, Т.М. Сидорова, С.Ю. Сидоров. — М.: ДМК, 1997. — 480 с.
19. Джигирей В.С. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища / В.С. Джигирей, В.М. Сторожук, Р.А. Яцюк. - Львів, Афіша, 2001. – 272 с.
20. Методичні вказівки до виконання і оформлення дипломного проекту (роботи) бакалавра для студентів спеціальності 161 "Хімічні технології та інженерія" денної та заочної форм навчання / Укладачі: І. В. Кравченко, Т. Е. Римар, - Северодонецьк: СНУ ім. Володимира Даля, 2017 –57 с.
21. Екологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / кол. авторів; за загальною ред. О. Є. Пахомова. - Харків: Фоліо, 2014. - 666 с.
22. Екологія : навч.-метод. посіб. / Володимир Худоба, Юлія Чикайло. – Львів : ЛДУФК, 2016. – 92 с.
23. Промислова екологія: навчальний посібник / С.О. Апоталюк, В.С. Джигирей та ін. – К.: Знання, 2012. – 430 с.
24. Кораблев В.П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности. Справочное пособие. - М.: Химия, 1991. – 240 с.